

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

MARCO ANTÔNIO GABRIEL

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS À BASE DE
HIPS, ABS E SAN COM ADIÇÃO DE PÓ DE VIDRO PARA
CONFECÇÃO DE PCIs**

**VOLTA REDONDA
2018**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS À BASE DE
HIPS, ABS E SAN COM ADIÇÃO DE PÓ DE VIDRO PARA
CONFECÇÃO DE PCIs**

Dissertação apresentada ao Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do Título de Mestre em Materiais, sob a orientação do Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro, na Área de Concentração de Processamento e Caracterização de Materiais Metálicos, Cerâmicos e Poliméricos na Linha de Pesquisa de Materiais Poliméricos.

Acadêmico: Marco Antônio Gabriel

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Cirlene Fourquet Bandeira

VOLTA REDONDA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

G118d Gabriel, Marco Antônio.

Desenvolvimento de compósitos poliméricos à base de HIPS, ABS e SAN com adição de pó de vidro para confecção de PCIs. / Marco Antônio Gabriel. - Volta Redonda: UniFOA, 2018. 83 p. : Il

Orientador (a): Profº Drº Sérgio Roberto Montoro
Coorientador (a): profª Drª Cirlene Fourquet Bandeira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2018

1. Materiais - dissertação. 2. Polímeros. 3. Compósito polimérico. 4. Pó de vidro. I. Montoro, Sérgio Roberto. II. Bandeira, Cirlene Fourquet. III. Centro Universitário de Volta Redonda. IV. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Marco Antônio Gabriel

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS À BASE DE HIPS,
ABS E SAN COM ADIÇÃO DE PÓ DE VIDRO PARA CONFECÇÃO DE PIC's**


Orientador:

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro


Coorientador:

Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

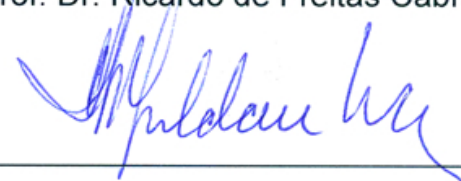
Banca Examinadora



Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro



Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral



Prof. Dr. Pedro Luiz da Cruz Saldanha

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças nos momentos mais difíceis e guiado o meu caminho, para que eu pudesse concluir este trabalho.

Agradeço a minha esposa Patrícia Cardozo da Costa e aos meus filhos Marlon Magno da Costa Dória, Brenda Cristina da Costa Gabriel e Miguel da Costa Gabriel e a minha família pelo apoio e compreensão. Meu pai Ivan Antônio Gabriel que sempre nos incentivou a estudar não deixando que nos faltasse o básico para os estudos e em especial In memoriam a minha mãe maria das graças Gabriel ao qual eu dedico esta minha conquista.

E ao meu Orientador Professor Dr. Sérgio Roberto Montoro e a Professora Dr^a. Cirlene Fourquet Bandeira, no acolhimento, paciência e no auxílio nas concretizações desse trabalho.

RESUMO

O avanço tecnológico tem cada vez mais automatizado e robotizado os equipamentos eletroeletrônicos; com isso, o uso das Placas para Circuito Integrado (PCIs) tornaram-se cada vez mais comuns e obrigatórios nos equipamentos. O meio de condutividade (passagem da corrente) nestas placas entre os componentes se dá através de uma camada de material condutor na superfície desta placa, que geralmente é o cobre. Os materiais isolantes que hoje são utilizados para fazer estas placas são a fenolite e fibra de vidro. O objetivo principal dessa dissertação de mestrado foi o processamento e caracterização morfológica de nove compósitos sendo: três a base de HIPS (Poliestireno de Alto Impacto), três a base de ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno) e três a base de SAN (Copolímero de Estireno e Acrilonitrila), com reforço de pó de vidro realizadas em uma porção de 70 g de material (100%), Os termoplásticos utilizados como base no presente estudo foram pesados nas proporções de 90%, 85% e 80%, respectivamente 63 g, 59,5 g e 56 g tendo como reforço o pó de vidro também adicionado nas proporções de 10%, 15%, e 20% respectivamente 7 g, 10,5 g e 14 g. nas proporções de 80/20, 85/15 e 90/10, respectivamente. Com a adição de pó de vidro nas bases poliméricas termoplásticas nas proporções citadas acima, espera-se através dos ensaios de Picnometria de Hélio, termogravimetria (TGA); calorimetria exploratória diferencial (DSC); Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e microscopia ótica (MO), verificar as alterações químicas nas propriedades dos compósitos em relação ao polímero base original e apresentá-los para injeção e ensaios mecânicos, buscando compará-los aos materiais usados comercialmente.

Palavras-Chave: Polímeros. Reforços. Compósito. Pó de Vidro. Placas de PCI.

ABSTRACT

The technological advance has increasingly automated and robotized the electrical and electronic equipment; with this, the use of Integrated Circuit Boards (PCIs) have become increasingly common and mandatory in equipment. The conductivity medium (passage of the current) in these plates between the components occurs through a layer of conductive material on the surface of this plate, which is generally copper. The insulating materials that are used today to make these plates are phenolite and fiberglass. The main objective of this master's thesis was the processing and characterization of nine composites: three based on HIPS (High Impact Polystyrene), three based on ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) and three based on SAN (Copolymer of Styrene and Acrylonitrile) with reinforcement of glass powder in the proportions of 80/20, 85/15 and 90/10, respectively. With the addition of glass powder in the thermoplastic polymer bases in the proportions cited above, it is expected through the Helium Picnometry, TGA; DSC; SEM and MO verify the chemical changes in the properties of the composites relative to the original polymer base and present them for injection and mechanical assays, seeking to compare them to the materials used commercially.

Keywords: Polymers. Reinforcements. Composite. Glass Powder. PCI cards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química do Poli-cis-isopreno (Borracha Natural)	17
Figura 2 - Esquema de obtenção de alguns polímeros a partir da destilação de carvão mineral	17
Figura 3 - Sequência característica de indústria de primeira geração.....	18
Figura 4 - Classificação dos materiais compósitos	21
Figura 5 - Fórmula Estrutural poliestireno Alto Impacto	24
Figura 6 - Matriz de PS com partículas de Butadieno formando uma estrutura do tipo Salame.....	25
Figura 7 - Formula estrutural dos monômeros do ABS	26
Figura 8 - Triângulo das Propriedades dos três Monômeros do ABS	27
Figura 9 - Triângulo das Propriedades dos três Monômeros do ABS.....	27
Figura 10 - Obtenção do SAN- representação em cadeia.....	28
Figura 11 - Processos de Produção do Vidro Plano	32
Figura 12 - Variação do volume específico com a temperatura e a definição de transição vítrea	33
Figura 13 - Ciclo de Reciclagem do Vidro	34
Figura 14 - Elementos contidos na Placa de Circuito impresso	35
Figura 15 - Placa Simples	36
Figura 16 - Placa Composta.....	36
Figura 17 - Placa multicamadas	36
Figura 18 - Circuito eletrônico sobre uma Placa PCI	38
Figura 19 - Placa de Fenolite	39
Figura 20 - Placa de Epóxi com Fibra de Vidro	40
Figura 21 - Pó de vidro em granulometria recolhida nas esteiras de Processo ..	43
Figura 22 – Fluxograma de atividades	44
Figura 23 - Misturador Homogeneizador	46
Figura 40 - Analisador de Densidade Real marca Quantachrome Instruments ..	48
Figura 24 - Microscópio de marca Hitachi modelo TM3000.	49
Figura 25 - Microscópio ótico Opton.....	50
Figura 25 - Análise do ABS puro via DSC	52
Figura 26 - Análise do ABS ABS 80-20 via DSC	52
Figura 27 - Análise do ABS 85-15 via DSC	53

Figura 28 - Análise do ABS 90-10 via DSC	53
Figura 31 - Análise do SAN 85-15 via DSC	55
Figura 32 - Análise do SAN 90-10 via DSC	55
Figura 33 - Análise do HIPS puro via DSC	56
Figura 34 - Análise do HIPS 80-20 via DSC	57
Figura 35 - Análise do HIPS 85-15 via DSC	57
Figura 36 - Análise do HIPS 90-10 via DSC	58
Figura 37 - Análise do ABS 90/10; 85/15 e 80/20 via TGA	59
Figura 38 - Análise do HIPs 90/10; 85/15 e 80/20 via TGA.....	60
Figura 39 - Análise do SAN 90/10; 85/15 e 80/20 via TGA	60
Figura 41 - MEV do HIPs Puro (Ampliação, 200).....	63
Figura 42 - MEV do HIPs 90/10 (Ampliação, 200)	63
Figura 43 - MEV do HIPs 85/15 (Ampliação, 200)	64
Figura 44 - MEV do HIPs 80/20 (Ampliação, 200)	64
Figura 45 - MEV do ABS Puro (Ampliação, 200)	65
Figura 46 - MEV do ABS 90/10 (Ampliação, 200).....	65
Figura 47 - MEV do ABS 85/15 (Ampliação, 200).....	66
Figura 48 - MEV do ABS 80/20 (Ampliação, 200).....	66
Figura 49 - MEV do SAN Puro (Ampliação, 200).....	67
Figura 50 - MEV do SAN 90/10 (Ampliação, 200).....	67
Figura 51 - MEV do SAN 85/15 (Ampliação, 200).....	68
Figura 52 - MEV do SAN 80/20 (Ampliação, 200).....	68
Figura 53 - MO do HIPs Puro (Ampliação, 400).....	70
Figura 54 - MO do HIPs 90/10 (Ampliação, 400)	70
Figura 55 - MO do HIPs 85/15 (Ampliação, 400)	71
Figura 56 - MO do HIPs 80/20 (Ampliação, 400)	71
Figura 57 - MO do ABS Puro (Ampliações 100, 200, 400).....	71
Figura 58 - MO do ABS 90/10 (Ampliação, 400).....	72
Figura 59 - MO do ABS 85/15 (Ampliação, 400).....	72
Figura 60 - MO do ABS 80/20 (Ampliação, 400).....	72
Figura 61 - MO do SAN Puro (Ampliação, 400).....	73
Figura 62 - MO do SAN 90/10 (Ampliação, 400).....	73
Figura 63 - MO do SAN 85/15 (Ampliação, 400)	73
Figura 64 - MO do SAN 80/20 (Ampliação, 400).....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composições de Fibra de Vidro de Reforço.....	22
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do HIPS Virgem.....	25
Tabela 2 - Comparação entre materiais usados nas placas.....	37
Tabela 3 – Massa específica dos compósitos do HIPS por meio da análise de picnometria de hélio.....	60
Tabela 4 – Massa específica dos compósitos do ABS por meio da análise de picnometria de hélio.....	61
Tabela 5 – Massa específica dos compósitos do SAN por meio da análise de picnometria de hélio.....	61
Tabela 6 - Propriedades do HIPs 825 da INNOVA	81
Tabela 7 - Propriedades ABS Ae 8000 da INNOVA.....	82
Tabela 8 - Propriedades SAN NF2200 da INNOVA	83

LISTA DE ABREVIATURAS

PCI	Placas de Circuito Integrado
ABS	(Acrilonitrila-Butadieno-Estireno)
HIPS	(Poliestireno de Alto Impacto)
SAN	(Copolímero de Estireno e Acrilonitrila)
MO	Microscopia Ótica
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
DSC	Calorímetro diferencial por varredura
TGA	Análise termogravimétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Geral.....	14
1.1.2	Específicos	15
1.2	Justificativa	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Polímeros	16
2.1.1	Matérias primas para polímeros	16
2.1.2	Técnicas de processamento de polímeros	18
2.1.2.1	<i>Termoplásticos</i>	19
2.1.2.2	<i>Termofixos</i>	20
2.2	Materiais Compósitos	20
2.2.1	Definição.....	20
2.2.2	Classificação dos Materiais Compósitos	21
2.2.2.1	<i>Compósito Fibrado</i>	21
2.2.2.2	<i>Compósito Particulado</i>	22
2.2.2.3	<i>Compósito Fibra/Metal</i>	23
2.3	Matrizes poliméricas	23
2.3.1	Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)	24
2.3.2	Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS).....	26
2.3.3	Copolímero de Estireno e Acrilonitrila (SAN).....	28
2.4	Reforço Cerâmico	29
2.4.1	Reforços Cerâmicos (vidros)	30
2.4.1.1	<i>Breve Histórico</i>	30
2.4.1.2	<i>Formação do Vidro</i>	31
2.4.1.3	<i>Reciclagem de vidros</i>	33
2.5	Placas de Circuitos Eletrônicos (PCIs)	34
2.5.1	Placas de Fenolite	38
2.5.2	Placas de Fibra de vidro	39
2.5.3	Logística reversa (Reciclagem) de placas de PCI	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	Materiais	42

3.1.1	Poliestireno de Alto impacto (HIPS).....	42
3.1.2	Copolímero grafitizado de estireno-acrilonitrila butadieno (ABS)	42
3.1.3	Copolímero grafitizado de estireno acrilonitrila (SAN)	42
3.1.4	Pó de Vidro	42
4	MÉTODOS	44
4.1.1	Determinação da granulometria do Pó de vidro utilizado	44
4.1.2	Processo de Pesagem dos Materiais	45
4.1.3	Processo de Mistura dos Materiais Termoplásticos.....	45
4.1.4	Processo de Trituração dos Materiais Termoplásticos	46
4.2	DSC	46
4.3	TGA	47
4.4	Ensaio de Picnometria de Hélio	47
4.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	49
4.6	Determinação da fração de fibras no compósito.....	49
4.7	Microscopia Ótica (MO).....	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1	DSC das bases termoplásticas.....	51
5.1.1	DSC das bases termoplásticas ABS.....	51
5.1.2	DSC das bases termoplásticas SAN	53
5.1.3	DSC das bases termoplásticas HIPS	56
5.2	TGA das bases Termoplásticas.....	58
5.3	Ensaio de Picnometria de Hélio	60
5.4	Análises de MEV	62
5.5	Determinação da fração de Polímeros base no compósito	69
5.5.1	Fração de polímeros base no HIPS, ABS e SAN	69
5.6	Análises de MO – verificação da distribuição do vidro no compósito ..	69
6	CONCLUSÕES	75
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	ANEXO A	81

1 INTRODUÇÃO

Um produto eletrônico moderno não pode ser imaginado sem o uso de uma variedade de semicondutores, dispositivos e circuitos integrados. As características desses elementos são frequentemente dependentes sobre o desvio da temperatura que afeta negativamente a confiabilidade e a qualidade de seu funcionamento e, portanto, tem um impacto negativo no seu desempenho.

O poder e a velocidade dos componentes do computador aumentaram a uma taxa constante desde que os *desktops* (computadores de mesa) foram desenvolvidos pela primeira vez décadas atrás. Fabricantes de *software* criam novos aplicativos capazes de utilizar os mais recentes avanços em velocidade de processador e capacidade de disco rígido, enquanto fabricantes de *hardware* se apressam em melhorar componentes e projetar novas tecnologias para acompanhar as demandas de *softwares* de ponta.

Esse avanço tecnológico tem cada vez mais automatizado e robotizado os equipamentos eletroeletrônicos. Com isso o uso das Placas para Circuito Integrado – PCIs – tornou-se cada vez mais comum e obrigatório nos equipamentos.

Segundo Schimdt [26], as PCIs foram criadas na década de 30, mais precisamente no ano de 1936, pelo engenheiro austríaco Paul Eisler, enquanto ele trabalhava na Inglaterra. Eisler patenteou o método de correr uma camada de cobre depositada sobre uma superfície isolante. E também há registros de 1925, uma patente norte-americana de Charles Ducas, o qual propunha depositar uma tinta condutiva sobre um material isolante, o que originou a expressão Circuito Impresso. O meio de condutividade (passagem da corrente) nestas placas entre os componentes se dá através de uma camada de material condutor na superfície desta placa, que geralmente é o cobre. Os materiais isolantes que hoje são utilizados para fazer estas placas são a fenolite e fibra de vidro.

As PCIs típicas consistem em várias camadas de compósitos de materiais orgânicos e inorgânicos, com fiação interna e externa, permitindo que os componentes elétricos sejam mecanicamente suportados e conectados eletricamente.

Uma PCI é um módulo independente de componentes eletrônicos interconectados encontrados em dispositivos que variam de bipes comuns, *paggers* e

rádios até sofisticados sistemas de radar e computador. Os circuitos são formados por uma fina camada de material condutor depositado ou impresso na superfície de uma placa isolante conhecida como substrato.

Os painéis são empilhados em camadas, alternando com camadas de folha de cobre com adesivo. As pilhas são colocadas em uma prensa onde são submetidas a temperaturas de cerca de 340°F (170° C) e pressões de 1500 psi por uma hora ou mais. Isso cura totalmente a resina e liga firmemente a folha de cobre à superfície do material do substrato.

Novos materiais assumem posições cada vez mais relevantes no Mercado de Engenharia. O plástico tem tomado um grande espaço no Mercado eletroeletrônico. Neste cenário de novos materiais tem se destacado os compósitos.

Em cada sistema que tem uma condutividade elétrica, e em que a condutividade específica do material é finita, perdas de calor são esperadas. As perdas de calor, também chamadas de aquecimento *ohm*, são em muitos casos um efeito colateral indesejável da condutividade da corrente elétrica.

Segundo Marinucci [1], os materiais compósitos poliméricos, objeto do presente estudo, tem se tornado uma classe de material que os tornam fortes candidatos para sua utilização em trabalhos que buscam flexibilidade, devida sua característica em redução de peso, resistência química e resistência mecânica elevada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O objetivo geral do presente estudo foi o processamento e caracterização de nove compósitos com matrizes termoplásticas reforçadas com pó de vidro, para a produção de placas de PCI.

As matrizes termoplásticas que foram estudadas são: poliestireno de alto impacto (HIPS), acrilonitrila-butadieno estireno (ABS) e o estireno acrilonitrila (SAN).

1.1.2 Específicos

- Testar novos materiais compósitos com a mistura do reforço de pó de vidro ao HIPS, ABS e SAN.
- Verificar via (TGA) a degradação térmica dos polímeros dos compósitos.
- Verificar via Picnometria de Hélio a massa específica dos compósitos.
- Verificar via análises de (MEV) a incorporação do vidro nas matrizes termoplásticas.
- Verificar via MO a distribuição do vidro nos compósitos.

1.2 Justificativa

A justificativa de se estudar os compósitos citados foi a busca de desenvolvimento de novos materiais e a caracterização dos mesmos visando uma proposta de uma possível substituição aos materiais hoje comercializados que são as placas de *Fenolite*[®] e fibra de vidro atualmente industrializadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Polímeros

Segundo Marinucci [1], a palavra polímero tem sua origem dos termos *Poli* (muitos) e *Mero* (partes), sua formação é dada pela união de diversas moléculas denominadas monômeros, que dão os surgimentos de outras moléculas maiores chamadas de macromoléculas.

Para Carnevarolo [2], outra definição de polímero é dada como uma matéria do tipo orgânico ou inorgânico que possui alta resistência molecular (entre mil e podendo chegar a 10 mil) que tem sua estrutura formada na repetição de unidades menores denominadas (meros). As uniões das moléculas simples menores formam as Macromoléculas que é formada através das ligações covalentes.

Conforme Akcelrud [3], a diferença entre macromoléculas e polímeros se dá que em polímeros a concentração da alta massa molecular vem da repetição das diversas unidades estruturais simples (POLI = muitos) e (MEROS = partes), já a macromolécula é proveniente da complexidade molecular, como as macromoléculas presentes em organismos vivos. Desta forma podem-se considerar polímeros como macromoléculas, mas, não necessariamente consideram-se macromoléculas como polímeros.

Silva [8] assevera que os polímeros representam uma contribuição química para o desenvolvimento Industrial do século XX. Segundo o autor *ibidem*, Herman Standiguer, nos anos 1920, desenvolveu um trabalho que, embora sem provas, considerava que a borracha natural e demais produtos de síntese, de estrutura química desconhecida, eram materiais que possuíam cadeias longas, e não agregados coloidais de pequenas moléculas, conforme era pensado naquela época. Foi somente em 1928 que os cientistas definitivamente reconheceram que os polímeros eram substâncias com elevado peso molecular.

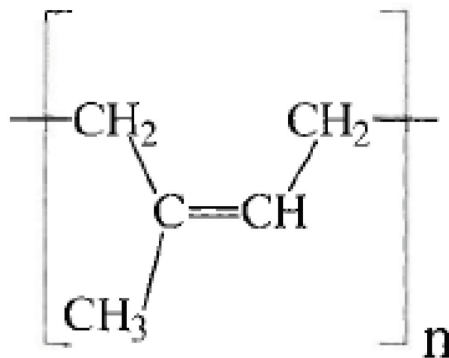
2.1.1 Matérias primas para polímeros

De acordo com Carnevarolo [2], a utilização comercial de um produto tem como dependência a origem de suas propriedades e principalmente do seu custo. Como o custo dos polímeros está diretamente ligado ao seu processo de polimerização, os

fornecedores de matérias primas para os monômeros e depois polímeros, são objetos de estudo e se dividem em três grupos.

- a) Naturais: Encontradas na natureza macromoléculas (celulose, borracha natural), que submetidas a um processo e modificadas dão origem a polímeros Industriais. Na ilustração demonstrada na figura 1 é apresentada a estrutura química da borracha natural, o Poli-cis-isopreno.

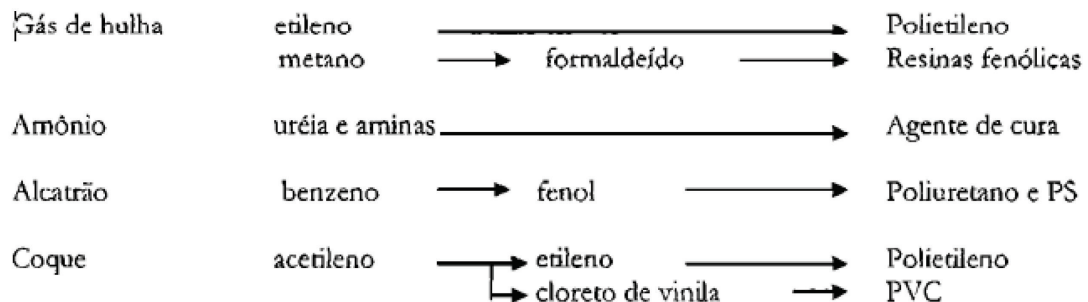
Figura 1 - Estrutura química do Poli-cis-isopreno (Borracha Natural)



Fonte: Carnevarolo (2006)

- b) Hulha ou carvão mineral: Conforme o autor *ibidem*, estes materiais submetidos a uma destilação seca darão origem a produção de diversos tipos de materiais como gases de hulha, amônio, alcatrão de hulha etc.; do gás de hulha é separado o etileno, que após sua polimerização dará origem a produção do Polietileno e diversos outros exemplos como os apresentados na figura 2.

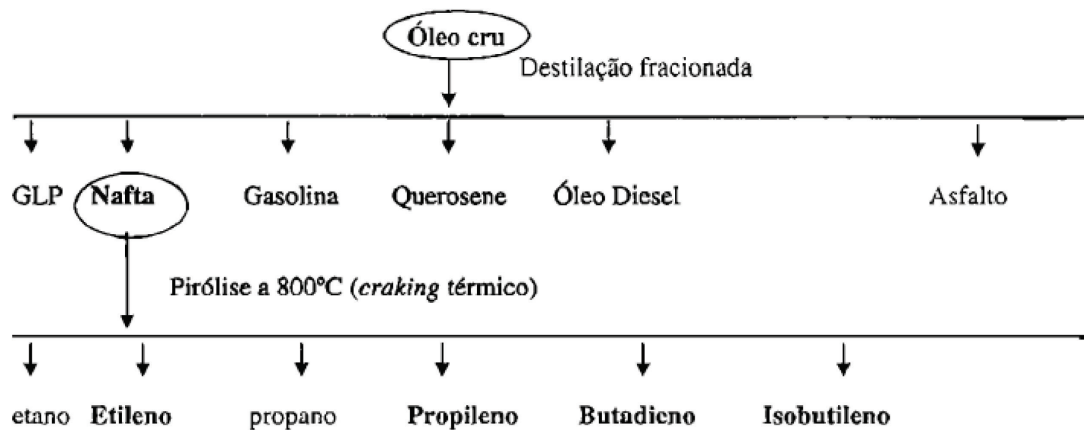
Figura 2 - Esquema de obtenção de alguns polímeros a partir da destilação de carvão mineral



Fonte: Carnevarolo (2006)

- c) **Petróleo:** O autor *ibidem* considerada a fonte mais importante, dentre todos os produtos naturais, por meio da destilação fracionada do óleo cru, são obtidas várias outras frações como (GLP, Nafta, Gasolina, querosene, óleo diesel, graxas, parafinas etc.). A nafta é a fração de interesse para a polimerização, pois após um *cracking* térmico denominado pirólise a uma temperatura de aproximadamente 800° C e catalise, dará origem as várias frações gasosas com contenção de moléculas saturadas e insaturadas. Das moléculas insaturadas (etileno, propileno, butadieno, buteno etc.), é realizada uma separação destas e utilizadas para sintetização de polímeros. A obtenção de monômeros se dá na indústria de primeira geração através de uma sequência. Esta será mostrada na figura 3.

Figura 3 - Sequência característica de indústria de primeira geração



Fonte: Carnevarolo (2006)

2.1.2 Técnicas de processamento de polímeros

Segundo Marinucci [1], existem vários critérios para classificação de polímeros, dentre estes critérios podemos citar a utilização e aplicação desse polímero. Se for levado em consideração o tipo de monômero (estrutura química), número médio dos meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, os polímeros são divididos em três partes: plásticos, elastômeros e fibras. Os monômeros reagem entre si formando macromoléculas poliméricas, a este conjunto de reações dá-se o nome de polimerização.

Conforme Akcelrud [3], uma cadeia polimérica possui um determinado comprimento, este é normalmente determinado em função do número de unidades

repetitivas que se se unem. A este número de unidades repetitivas dá-se o nome de Grau de Polimerização. X_n onde a massa molar de um polímero (M) é o produto da massa molar da unidade repetitiva (M_0) pelo grau de polimerização, $M = X_n \times M_0$.

Ainda o autor *ibidem* assevera que não é raro valores alcançarem a casa dos 100.000 unidades, um exemplo é o caso do poliestireno que aplicado neste exemplo tem $n = 100.000$. Para Marinucci [1], a técnica dos processamentos dos materiais é determinada pela característica de fusibilidade dos polímeros e são classificadas em dois tipos; termoplásticos e termofixos.

2.1.2.1 Termoplásticos

São os chamados plásticos, que são a maior parte dos polímeros comerciais. Como características, Marques [4] afirmou que estes podem ser fundidos diversas vezes e conforme seus tipos podem ser dissolvidos em solventes de diversos tipos. Desta forma este tipo de polímero pode ser reciclado, atendendo uma tendência bastante desejada nos dias de hoje. Suas propriedades mecânicas variam conforme cada tipo de plástico. Estas são verificadas sob temperatura ambiente e podem ser do tipo maleáveis, rígidas ou frágeis.

Ainda segundo Marinucci [1], os polímeros termoplásticos podem ser fundidos por efeito de temperatura e pressão e o seu endurecimento ocorre quando são resfriados, pois com essa condição estes tipos de polímeros podem ser facilmente moldados. Quando aplicados pressão e temperatura são iniciados novos ciclos de fusão e endurecimento, portanto suas, propriedades físicas são reversíveis. Como exemplo destes tem-se o Poliestireno (PS), Polipropileno (PP) e o Poli cloreto de vinila (PVC).

As vantagens dos materiais termoplásticos são verificadas na resistência química, ainda que moderada, na tenacidade elevada, em um volume de produção elevado, baixa densidade, investimentos médios em produção e facilidade de reciclagem (reaproveitamento do material). Entretanto, conforme o autor *ibidem*, estes materiais possuem baixas propriedades mecânicas e elásticas, coeficiente de expansão térmica elevado, propiciando baixa estabilidade dimensional e baixa temperatura.

2.1.2.2 Termofixos

Os polímeros termofixos também são conhecidos como termorrígidos. Por ser um material, em sua grande maioria líquidos, que normalmente são mais fáceis de serem processados, tendo como outra grande vantagem a sua temperatura que normalmente é abaixo de 150°C, podendo assim ser processados à temperatura ambiente. Ainda o autor *ibidem* assevera que estes materiais não demandam um investimento alto, em função de serem líquidos, não necessitam de equipamentos como injetoras e extrusoras para seu processamento. Quanto a sua solidificação esta ocorrerá pela adição de agentes endurecedores.

Conforme Ashby [5], a reação de endurecimento dos termofixos pode ocorrer por temperatura ambiente ou por aquecimento. Os materiais resultantes são denominados polímeros de rede, pois possuem muitas ligações cruzadas. Esta fundição ocorre durante a polimerização da resina líquida e do endurecedor, resultando uma estrutura quase sempre amorfa.

Marinucci [1]) complementa que devido a essa ligação cruzada nos polímeros é formada uma estrutura tridimensional, que o faz insolúvel e infusível, tornando-os materiais não recicláveis. Esses materiais normalmente são utilizados como matrizes tendo fibras adicionadas como reforços. Materiais termofixos em relação aos materiais termoplásticos possuem características mecânicas e elásticas superiores. São estáveis no âmbito dimensional e possuem excelente resistência ao ataque químico.

Como desvantagem, para o autor *ibidem*, quando comparados aos materiais metálicos, estes possuem uma faixa de temperatura de utilização baixa (150°C) e não são materiais que permitem reprocessamento.

2.2 Materiais Compósitos

2.2.1 Definição

Segundo Ashby [5], uma definição clássica de compósito é a união de dois ou mais materiais com um resultado melhor em relação às características iniciais de cada material, porem esse processo já é conhecido há muito tempo.

Conforme Shackelford [6], de uma forma geral esta definição é utilizada de forma bem estrita, onde se considera apenas os materiais com combinações de diferentes componentes em uma escala microscópica, dentre estes estão a fibra de vidro, a madeira e o concreto.

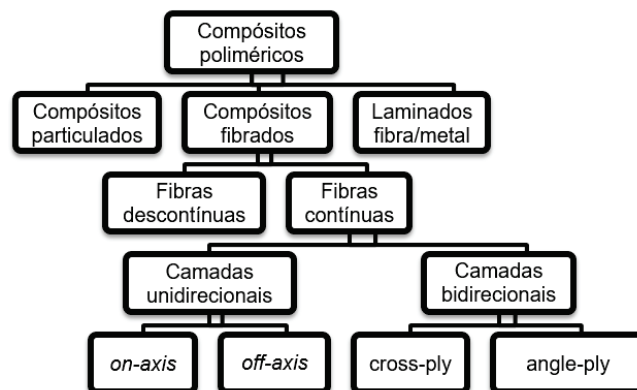
Para Marinucci [1], para a formação de um compósito é necessária ainda a utilização de uma matriz. Essa matriz no compósito vai garantir uma determinada homogeneidade, servindo como elemento que vai garantir a conformação à peça, além de atuar na distribuição das tensões no material e criar uma proteção contra ações externas, facilitando assim o manuseio da peça.

2.2.2 Classificação dos Materiais Compósitos

Segundo o autor *ibidem*, nos materiais compósitos, a orientação do reforço influenciará bastante em relação a sua resistência. Por essa influência causada pelo reforço os materiais compósitos são classificados em reforços fibrosos, particulados e ou fibra metal.

A figura 4 mostra um fluxograma da classificação destes materiais.

Figura 4 - Classificação dos materiais compósitos



Fonte: Silva (2017)

2.2.2.1 Compósito Fibrado

Para Marinucci [1], entende-se como compósito fibrado aquele material que tem seu reforço na forma de fibra.

Conforme Ashby [5], devido à baixa rigidez dos polímeros, que os tornam materiais frágeis, as utilizações de fibras tornam-se obrigatórias para o aumento de sua rigidez. Esse aumento de rigidez depende do alinhamento das fibras ao longo da direção do carregamento, formando a rigidez e a resistência em termos aproximados, ponderados com suas frações de volume.

A fibra mais utilizada em compósitos fibrosos é a fibra de vidro. Considerada como compósito moderno, algumas composições do vidro são mostradas no quadro a seguir.

Quadro 1 - Composições de Fibra de Vidro de Reforço

Designação	Características	Composição (%p)								
		SiO ₂	(Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O)	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	TiO ₂	ZrO ₂
Vidro-A	Sílica de Cal de Solda Comum	72	≤1	10		14				
Vidro-AR	Resistente a bases alcalinas (para reforço de concreto)	61	≤1	5	≤1	14	3		7	10
Vidro-C	Resistente a Corrosão química	65	4	13	3	8	2	5		
Vidro-E	Composição Elétrica	54	15	17	5	≤1	≤1	8		
Vidro-S	Alta resistência e Alto Módulo	65	25		10					

Fonte: Shackelford (2008)

De acordo com Shackelford [6], a fibra mais utilizada é a do tipo E (tipo Elétrico), possui uma atratividade como dielétrico, pois o baixo conteúdo de sódio do vidro E, caracteriza-a como material Isolante.

2.2.2.2 Compósito Particulado

Para Silva [8], os compósitos particulados possuem várias formas, podendo ser esféricos, cúbicos, tetragonais ou tomando qualquer outra forma regular ou irregular, mas, na sua maioria, possuem grãos de iguais tamanhos, conhecidos como equiaxiais.

Segundo Silva [8], os materiais particulados incluem farinha de madeira, farinha de sílica, vidro, argila, talco, calcário, etc. Os tamanhos destas partículas são variados e estão na faixa de 10 nm, atingindo dimensões macroscópicas.

O autor *ibidem* ainda assevera que apesar de não apresentar contribuição para aumento de resistência, a vantagem do uso das partículas nos compósitos é o aumento de sua rigidez. Mesmo assim esses compósitos atendem necessidades como melhora das propriedades térmicas e elétricas, aumento de resistência a abrasão e muitas das vezes garantir o desempenho do material a temperaturas elevadas. Como desvantagem é a sua máxima temperatura de serviço, que para maioria das matrizes poliméricas está abaixo de 200°C.

2.2.2.3 Compósito Fibra/Metal

Este arranjo permite a combinação de um material Isotrópico, por exemplo, o alumínio e materiais compósitos, formando uma estrutura bastante interessante em relação a resistência mecânica, oferecendo em algumas camadas a condição de Isotropia e outras de anisotropia.

Conhecido como laminado fibra/metal (FML - *fiber metal laminate*), este material tem uma grande aplicação encontrada na indústria aeronáutica. Conforme Marinucci [1], sua composição é formada por camadas unidirecionais de compósito de 0° a 90° intercaladas por lâminas de alumínio.

2.3 Matrizes poliméricas

Em materiais compósitos temos como base as matrizes. Conforme o autor *ibidem*, matriz polimérica tem como denominação um determinado material formado por misturas em proporções adequadas e resinas e como agentes de cura são utilizados (iniciadores, endurecedores e promotores), sempre buscando boas propriedades mecânicas e resistência química de excelência.

Ainda, conforme Montoro [11], embora as propriedades mecânicas dos compósitos sejam denominadas pelo elemento fibroso, a matriz deve ser selecionada de acordo com as necessidades relacionadas a processabilidade e desempenho.

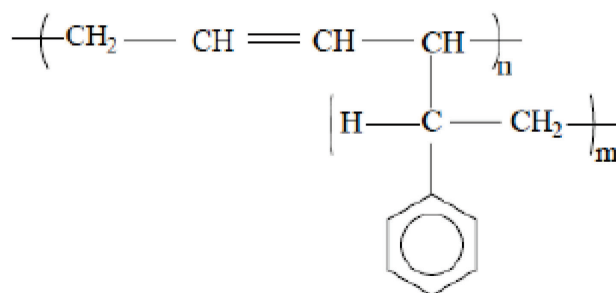
O autor *ibidem* sugere importante atenção à matriz polimérica, entendendo que esta é a fase pela qual ela é responsável pela união dos reforços (fibras, particulados, etc.), da qual são também responsáveis pela definição do formato das peças, bem como pela distribuição das tensões que são aplicadas no compósito. Isso significa que se houver algum rompimento na fibra devido a um estresse em relação a uma carga nela aplicada, esta deve ser imediatamente transferida a fibra adjacente.

As características poliméricas quanto à fusibilidade dos polímeros, de acordo com SILVA [8], determinam as técnicas de processamento de um determinado material. Como matrizes Poliméricas as resinas mais utilizadas para compor a fabricação de compósitos são as resinas poliéster, epóxi e vinil éster.

2.3.1 Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)

Conhecido popularmente como HIPS (*high impact polystyrene*), o poliestireno de alto impacto, conforme Souza [12] é um polímero que tem como adição o butadieno, em torno de 14%, como agente tenacificante. Sua cadeia molecular é apresentada na figura a seguir.

Figura 5 - Fórmula Estrutural poliestireno Alto Impacto



Fonte: SOUZA (2011)

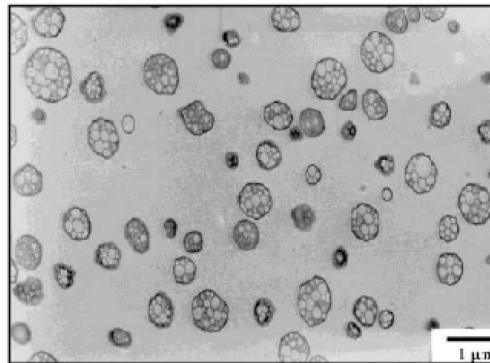
Conforme Benini [13], o HIPS é um termoplástico amorfo com grande utilização na construção de componentes industriais, dentre eles, peças internas e externas de aparelhos eletrônicos, microcomputadores, etc.

Ainda conforme o autor *ibidem*, classificado como termoplástico, o HIPS é um polímero que apresenta uma temperatura de processamento relativamente baixa e

suas propriedades podem ser facilmente modificadas a partir da alteração na sua morfologia e composição das fases estirênica e borracha.

Segundo Souza [12], no HIPS a fase elastomérica forma uma estrutura tipo salame, conforme pode ser visto na figura 6. E, dependendo das condições de processamento pode ter seu tamanho apresentado de forma variada.

Figura 6 - Matriz de PS com partículas de Butadieno formando uma estrutura do tipo Salame



Fonte: SOUZA (2011)

Segundo Cavalcanti [14], HIPS são polímeros modificados, sendo assim percebe-se uma resistência ao Impacto maior que do poliestireno comum, em contrapartida tem menores resistência à tração e módulo de elasticidade. Suas principais propriedades estão no ponto de amolecimento, entre 87°C e 100°C, e uma solubilidade parcial em hidrocarbonetos e cetonas.

Na tabela 1 são mostrados os valores típicos das propriedades das resinas HIPS.

Tabela 1 - Propriedades do HIPS Virgem

PROPRIEDADE	NORMA DE ENSAIO	UNIDADE	RESULTADO
Resistência ao Impacto IZOD	ASTM D-256	J/m	115
Resistência à Tração	ASTM D-638	MPa	24
Módulo de Elasticidade em Tração	ASTM D-638	MPa	2000
Índice de Fluidez (200 °C / 5Kg)	ASTM D-1238	g/10min	7
Resistência à Flexão	ASTM D-790	MPa	45
Densidade	ASTM D-792	g/cm ³	1,04

Fonte: Souza (2011)

2.3.2 Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS)

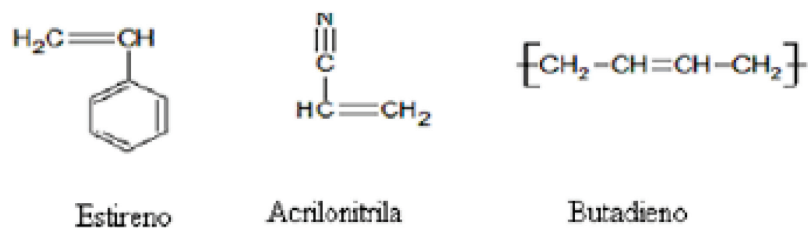
Conforme Laudi [15], resinas ABS, são termopolímeros, tendo como componentes uma unidade elastômero e duas unidades termoplásticos amorfos. Suas respostas as tensões e deformações aplicadas e suas propriedades mecânicas fizeram deste polímero um importante material na engenharia de materiais.

Cavalcanti [14] assevera que sendo resultante da polimerização entre estireno, acrinolitrila e do butadieno, o ABS é considerado um polímero leve e rígido e apresenta uma flexibilidade e resistência ao impacto.

Segundo o autor *ibidem*, os tipos de produção do ABS são: polimerização por emulsão, polimerização em massa ou pela combinação destes dois processos (LAUDI, [15]). Suas principais propriedades são: boa resistência química variando entre o nível médio ao alto, alta rigidez, alta dureza, excelente dimensional, alta contração de moldagem e boas propriedades dielétricas.

De acordo com Kurek [16], considerado um polímero nobre e de grande utilização na indústria automotiva (grades, maçanetas, puxadores etc.), na indústria moveleira, em eletrodomésticos, artigos de moda entre outros. Conforme demonstrado na figura 7, o ABS é um material composto de três monômeros: Acrilonitrila, Butadieno e Estireno.

Figura 7 - Formula estrutural dos monômeros do ABS

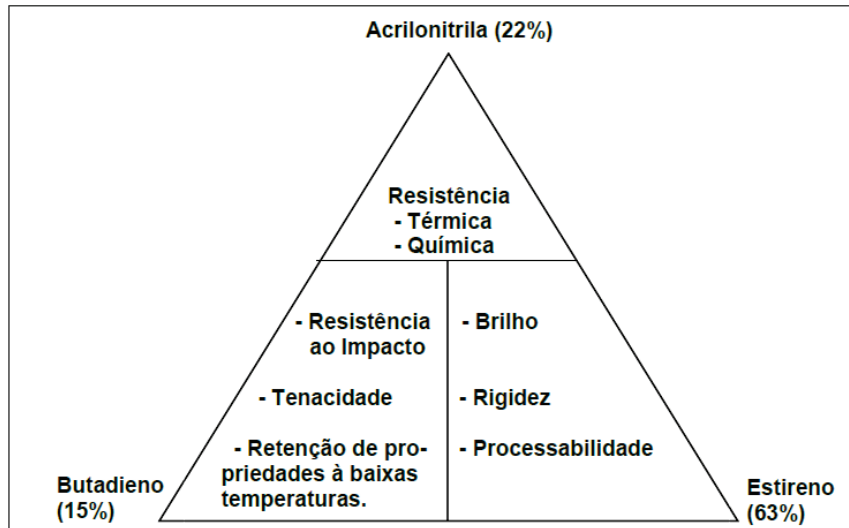


Fonte: Kurek (2014)

O autor *ibidem* ainda acrescenta que cada monômero possui uma funcionalidade no polímero ABS, ao se variar esses percentuais obtêm-se diferenciações nos graus de flexibilidade, resistência ao calor e rigidez.

Conforme apresentado na figura 8, normalmente as concentrações dos monômeros do ABS são na proporção de 22% de acrilonitrila 15% de butadieno e 63% de estireno, essas proporções são utilizadas para fabricação de peças cromadas.

Figura 8 - Triângulo das Propriedades dos três Monômeros do ABS

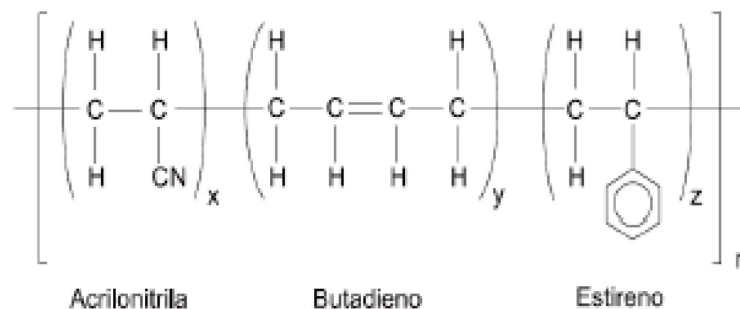


Fonte: Kurek (2014)

O ABS é obtido industrialmente (~85%) por polimerização em emulsão. Neste processo o ABS tem partículas poliméricas submicrométricas, sendo seu núcleo com formação preponderantemente pelo copolímero de estireno e butadieno e o seu exterior formado por acrilonitrila e estireno. Tendo como estado final uma formação em duas fases distintas, uma fase rica em butadieno (borrachosa) e outra fase rica em acrilonitrila (rígida), sendo necessário para compatibilização das mesmas, enxertia de copolímeros de acrilonitrila e estireno em copolímeros de estireno e butadieno.

Na figura 9, o autor *ibidem* mostra a estrutura química do ABS.

Figura 9 - Triângulo das Propriedades dos três Monômeros do ABS

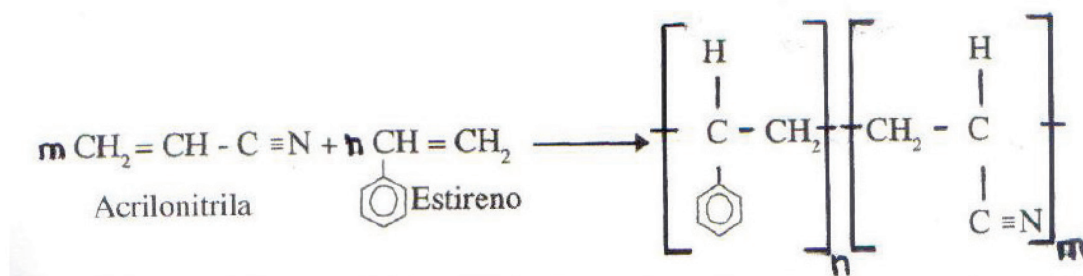


Fonte: Kurek (2014)

2.3.3 Copolímero de Estireno e Acrilonitrila (SAN)

Conforme Grande [19], conhecido como copolímero termoplástico aleatório de estireno (Sty) e acrilonitrila (AN), o SAN é bastante conhecido e usualmente empregado para substituir o estireno, pois o mesmo possui uma resistência térmica maior que o anterior. O SAN é empregado em várias aplicações, com destaque na produção de bens duráveis, embalagens e revestimentos para eletrônicos. Sua estrutura química pode ser vista na figura 10.

Figura 10 - Obtenção do SAN- representação em cadeia



Fonte: Breda (2011)

A obtenção do SAN em cadeia se faz pela utilização de técnicas de polimerização em suspensão ou por polimerização por solução. Os copolímeros sintetizados a partir dos monômeros de estireno e acrilonitrila são obtidos por estas reações em cadeia conforme foi mostrado na figura 10.

Conforme Breda [17], a polimerização em suspensão ocorre normalmente entre as temperaturas de 60° e 150°. Através de uma mistura de água os monômeros de estireno e acrilonitrila são copolimerizados na presença de um iniciador insolúvel em água, porém solúvel nos monômeros, gerando assim radicais livres por decomposição térmica. Após esta sintetização o SAN é removido do meio reacional, passando por uma operação de secagem e finalmente é extrudado e granulado.

Já a técnica de polimerização em solução, de acordo com autor *ibidem*, ocorre normalmente entre 60° e 100°C com a utilização de um solvente adequado, o monômero de estireno é dissolvido. Estes normalmente são o etil benzeno e a acrilonitrila. A copolimerização ocorre com a solução passando por um reator, neste os monômeros não reagidos e os solventes tem uma remoção através de uma abertura do reator, sendo ambos reaproveitados no processo de polimerização.

Leitzke [18] caracterizou o SAN como o copolímero termoplástico, obtido pela polimerização de suspensão ou emulsão através de reações do monômero estireno e acrilonitrila, tendo como aspecto original uma aparência transparente e inodora.

Segundo Grande [19], pode-se citar então como fatores que afetam as propriedades finais deste material, com destaque para o teor de acrilonitrila. Afetando diretamente a polaridade deste material, com o aumento do teor de AN, eleva-se então a energia coesiva entre as moléculas ocasionando um resultado de melhor resistência química e térmica, porém este resultado dificulta sua processabilidade.

Conforme Leitzke [18], através de sua polimerização pelo processo de injeção, podem-se citar no SAN as seguintes propriedades: resistência à degradação; material monofásico; resistência mecânica; alta transparência; alta dureza; comportamento estável a óleos, graxas, ácidos fracos e água quente; instável a ácidos concentrados; boa estabilidade dimensional.

Conforme o autor *ibidem*, materiais poliméricos termoplásticos vêm sendo modificados ou reforçados por diversos aditivos, sendo estes fibrados ou particulados ou ainda pela adição de elastômeros. Estes últimos, quando submetidos o material a uma determinada carga, as partículas elastoméricas dispersas tem a capacidade de concentrar ou absorver essa tensão. Com isso provoca-se uma alteração do estado tensorial, de sua fase matricial e obtém-se uma intensa deformação plástica.

Grande [19] assevera que o SAN apresenta elevada resistência térmica e química além de apresentar boa processabilidade e rigidez, contudo, sua baixa resistência ao impacto limita sua aplicação em certas áreas da indústria. Um caso de bastante sucesso visando à melhora da tenacificação do SAN ocorre com a incorporação de uma fase elastomérica no SAN resultando no ABS.

2.4 Reforço Cerâmico

Segundo Trindade [21] os materiais cerâmicos são materiais inorgânicos e não metais, em sua maioria estes materiais são compostos por materiais metálicos ou não metálicos e suas ligações são interatômicas, ou predominantemente iônicas apesar de terem caráter covalente.

Segundo Callister [20], advindo da palavra grega *KERAMIKOS*, que significa: material queimado, o termo cerâmico indica que a propriedade desejada deste tipo de material pode ser normalmente encontrada pelo processo de tratamento térmico de alta temperatura. O referido processo é conhecido atualmente como sinterização.

Conforme o autor *ibidem*, os mais importantes materiais desta classe eram denominados cerâmicas tradicionais, tendo como matéria prima básica a argila. Os produtos considerados como cerâmica tradicional eram: a louça, porcelana, tijolos, telhas, ladrilhos, azulejos e os materiais em adição os vidros e cerâmicas de alta temperatura.

Segundo Trindade [21], os materiais cerâmicos normalmente são divididos por dois grupos principais: as óxidas, que contem presença de oxigênio e as não óxidas que são formadas por elementos de nitreto e carbetos. Normalmente as estruturas cristalinas das cerâmicas são mais complexas que as dos metais, isto devido à natureza variada de suas ligações químicas e de sua formação por mais de um componente químico.

2.4.1 Reforços Cerâmicos (vidros)

2.4.1.1 Breve Histórico

De acordo com Caldas [22], os primeiros registros sobre um novo material, foi por volta dos anos 5000 a.C., entre os mercadores fenícios, este seria o vidro, tal experiência se deu na tentativa de criação de uma fogueira, onde os fenícios observaram em uma mistura de areia com blocos de nitrato de sódio, um líquido transparente que mais tarde seria o vidro.

O autor *ibidem* ainda menciona que no ano de 100 a.C., os romanos deram sua contribuição para a fabricação de vidros com a utilização da técnica do sopro utilizando moldes e aumentando significativamente a possibilidade de uma produção seriada pela indústria. Os romanos foram os primeiros a utilizar o vidro para janelas.

Ainda, o autor *ibidem* conclui sua narrativa acerca das origens da fabricação do vidro afirmando que, no Egito, este começou a ser produzido com a utilização de cálcio, cal, potássio e barrilha, porém eram vidros opacos e arenosos. Lá também foi

desenvolvida a técnica do fole aplicada ao forno, conseguindo-se assim, o aumento do calor, tornando a massa vítrea mais maleável.

Segundo Silva [23], muitos autores, complementarmente, definem o vidro, porem a definição adotada pelo grupo de crescimentos de cristais e materiais cerâmicos (CCMC) é que o vidro é um sólido não cristalino com ausência completa de ordem a longo alcance e periodicidade, exibindo uma região de transição vítrea,

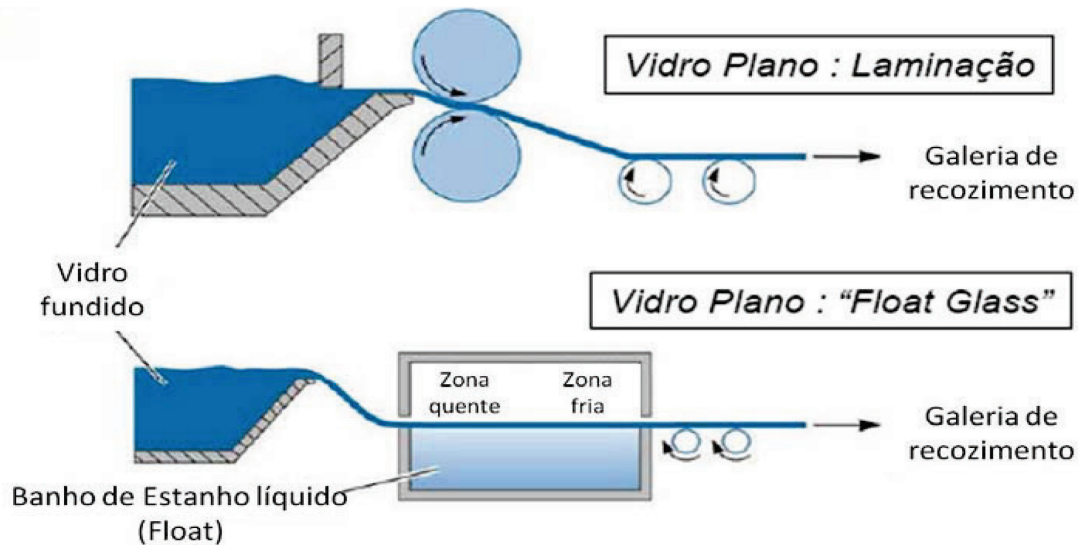
No Brasil, segundo Caldas [22], a história da indústria do vidro iniciou-se com a invasão dos holandeses em 1624, com a instalação da primeira oficina de vidros em Olinda realizada por 04 artesãos produzindo vidros para janela, copos e frascos. Em 1812 instalou-se uma fábrica na Bahia onde se iniciou a produção de vidros lisos, de cristal branco, frascos, garrações e garrafas, no século XX, propriamente no seu início, foi onde a indústria do vidro desenvolveu a introdução de fornos contínuos e equipamentos de recuperação de calor e equipamentos automáticos.

O autor *ibidem* complementa asseverando que foi com a junção da inglesa Pilkington e a francesa Saint Gobain, no ramo de vidro que foi criada em 1982 no estado de São Paulo a CEBRACE, esta foi a primeira fábrica de vidro *float* no Brasil, já em 1998 a multinacional americana Guardian se instalou em Porto Real, hoje tem-se quatro empresas de vidros instaladas no Brasil Cebrace, Guardian, UBV e Saint-Gobain.

2.4.1.2 Formação do Vidro

Segundo Silva [23], ao se evitar a cristalização do líquido, ocorre então a formação do vidro, onde também se realiza o tratamento térmico, pelo processo de recozimento, conforme figura 11, evitando assim as tensões.

Figura 11 - Processos de Produção do Vidro Plano



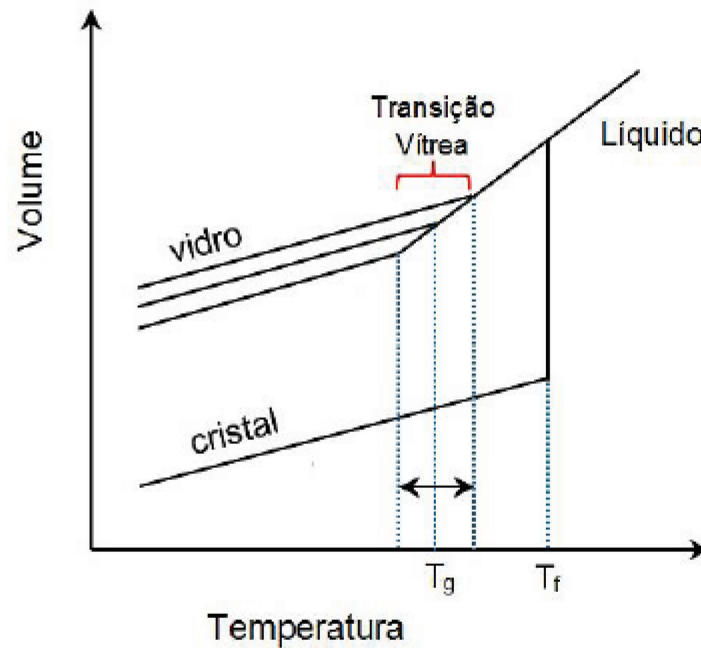
Fonte: Caldas (2012)

Os vidros são pertencentes ao grupo dos cerâmicos amorfos no qual segundo Callister [20] podem ser divididos em vários tipos, dentre estes as principais características desses materiais estão relacionadas a sua transparência ótica e a sua relativa facilidade de fabricação.

Dentre as várias definições para o vidro, Trindade [21], ASTM (1037) o definiu como produto inorgânico de fusão com resfriamento numa condição rígida sem cristalização.

Já Shelby (1997) *apud* Trindade [21], define o vidro como sólido amorfo com ausência completa de ordem, com uma transição vítrea, conforme a figura 12.

Figura 12 - Variação do volume específico com a temperatura e a definição de transição vítrea



Fonte: Silva (2013)

2.4.1.3 Reciclagem de vidros

Conforme Caldas [22], a reciclagem do vidro hoje é realizada por três tipos, sendo estas: o vidro automotivo, o plano e o de embalagem. Para que possam ser reaproveitados os cacos devem ser homogêneos para que possam ser reutilizados em fabricação de novos vidros, este processo de reciclagem se dá com a separação do material e estes são levados há uma máquina onde se realiza a trituração do material. Ocorrendo ainda uma lavagem para retirada das impurezas, após este processo o material torna-se matéria prima podendo novamente ser reaproveitado na indústria vidreira.

O autor *ibidem* ainda salienta que com a reciclagem do vidro obtêm-se várias vantagens para a natureza e sociedade, dentre elas podemos citar a geração de emprego e renda com a captação e comercialização do caco; aumento da vida útil dos aterros sanitários e economia de energia no processo de fusão. Na figura 13 pode-se ver a realização deste processo.

Figura 13 - Ciclo de Reciclagem do Vidro



Fonte: Caldas (2012)

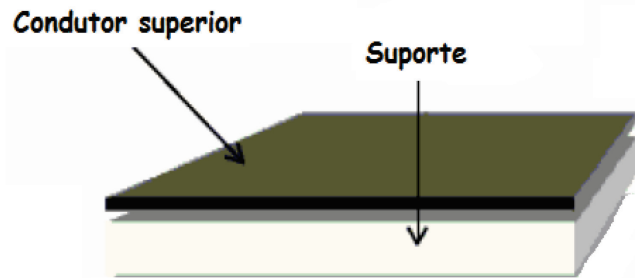
Caldas [22] complementa que a contaminação dos cacos dos vidros é uma das preocupações com a reciclagem do vidro, pois os mesmos vêm com muitas impurezas, prejudicando assim o processamento de novos vidros. Com esta restrição normalmente o vidro plano não é utilizado na reciclagem convencional devido à sua composição química, atualmente uma série de tecnologias é utilizada visando à reciclagem dos vidros como a refusão do resíduo de vidro para fabricação de novos vidros.

2.5 Placas de Circuitos Eletrônicos (PCIs)

Conforme Schmidt [26], placa de circuito impresso é o componente mais básico e mais comum de uso na indústria eletrônica para construção de circuitos eletrônicos. Com a utilização de uma camada fina de um condutor estampado na placa, esta que por sua vez é construída de material isolante, a corrente elétrica circula por esse condutor que está interligado entre os componentes fixados por solda, substituindo assim a fiação, obtém-se desta forma uma melhor distribuição dos componentes e ocasionando a diminuição de equipamentos.

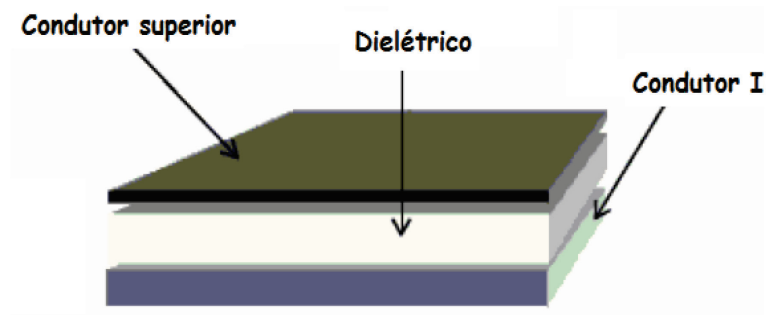
Segundo Pacheco [25], o circuito impresso constitui-se de uma placa de fenolite, fibra de vidro, filme poliéster, filmes específicos, à base de diversos polímeros, sua face normalmente é coberta por uma camada de material condutor cobre ou prata,

Figura 15 - Placa Simples



Fonte: Pacheco (2015)

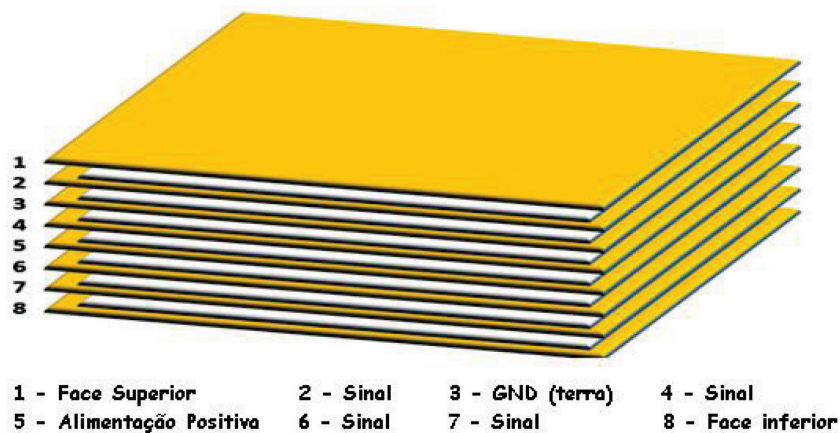
Figura 16 - Placa Composta



Fonte: Pacheco (2015)

O número de camadas condutoras das placas de circuito impresso é que determina sua classificação, que podem ser de uma ou de várias faces. As de uma face condutora são determinadas de face simples, já as que possuem várias faces condutoras, figura 17, são denominadas de múltiplas camadas.

Figura 17 - Placa multicamadas



Fonte: Pacheco (2015)

Conforme Schmidt [26], para a determinação do material empregado nas placas, necessita-se conhecer as características físicas determinadas pelos esforços que estas placas serão submetidas, que normalmente são flexibilidade, resistividade da superfície, dissipação de calor, constante dielétrica, resistência à elevação da temperatura, resistência à umidade etc.; os materiais mais utilizados hoje como base na indústria de confecção de PCIs são o fenolite e as placas de fibra de vidro. As características destes dois materiais são mostradas na tabela 2.

Tabela 2 - Comparação entre materiais usados nas placas

COMPARAÇÃO ENTRE MATERIAIS USADOS NAS PLACAS					
Tipo	Custo	Resistência Mecânica	Resistência Térmica	Isolação Galvânica	Resistência à Fusão
Fenolite	Baixo	Razoável	Baixa *	Baixa	Baixa
Fibra de Vidro	Alto	Alta	Alta	Alta	Alta

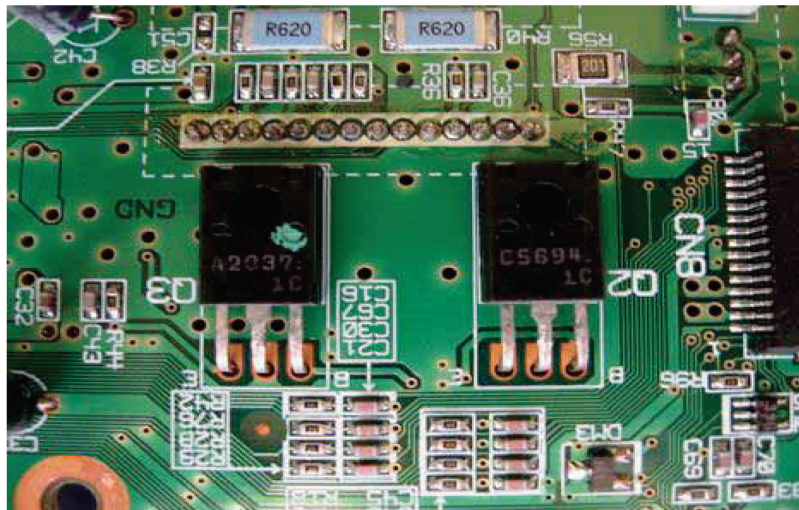
* no caso de queima e carbonização, o fenolite torna-se condutor.

Fonte: Schmidt (2012)

Conforme o autor *ibidem*, as placas base são normalmente projetas e construídas rígidas e flexíveis, com uma, duas ou multicamadas condutoras, porém independentemente do tipo, estas placas são formadas por material isolante tendo esta folha condutora ligada quimicamente ou mecanicamente. O material condutor utilizado vai depender da aplicação da placa, nelas são desenhadas trilhas condutoras, que são utilizadas para interligação dos componentes eletrônicos, obedecendo ao *layout* do circuito desejado.

Pela figura 18, percebe-se que uma placa de PCI montada com os componentes eletrônicos possui uma composição muito heterogênea, composta de forma geral por materiais plásticos, cerâmicos, metais comuns e metais preciosos, tornando-a como difícil de ser reciclada, mas, segundo Pacheco [25], em contrapartida torna-se uma matéria prima interessante.

Figura 18 - Circuito eletrônico sobre uma Placa PCI



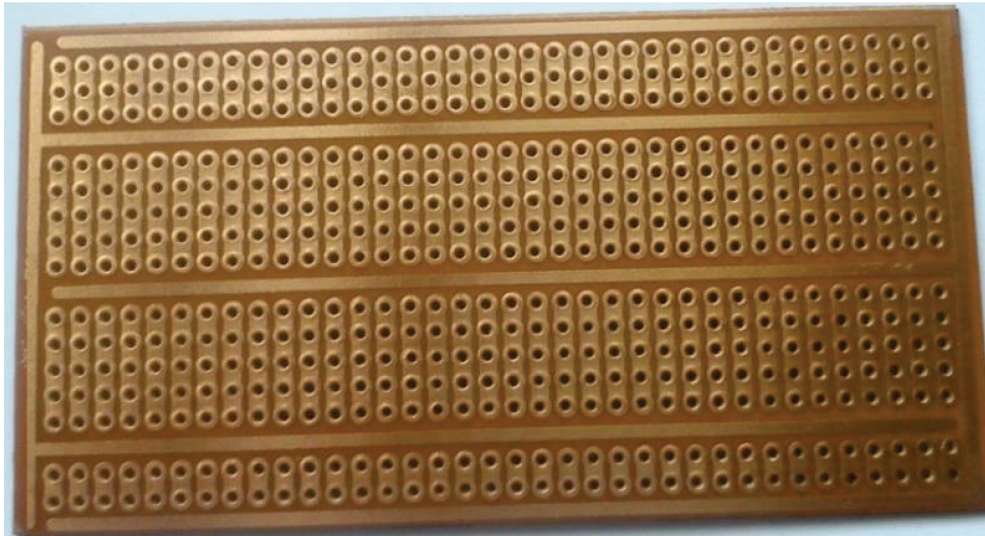
Fonte: Schmidt (2012)

Conforme Schmidt [26], por possuírem uma extensa aplicação e apresentarem um menor custo, as placas de uma face são as mais utilizadas. As placas de dupla face somente são utilizadas quando da complexidade do circuito tornar difícil a montagem dos componentes eletrônicos ou tornar difícil o desenvolvimento de *layout* e fiação em apenas um dos lados da Placa.

2.5.1 Placas de Fenolite

Da mistura de resina fenólica (nome genérico de um grupo de matérias plásticas que se obtém por condensação de fenóis com aldeídos) com papel picado ou de serragem de madeira (material utilizado para carga) origina-se a placa de fenolite, figura 19, que possui uma cor clara ou escura, dependendo do tipo de carga utilizada. Essa mistura é moldada e prensada.

Figura 19 - Placa de Fenolite



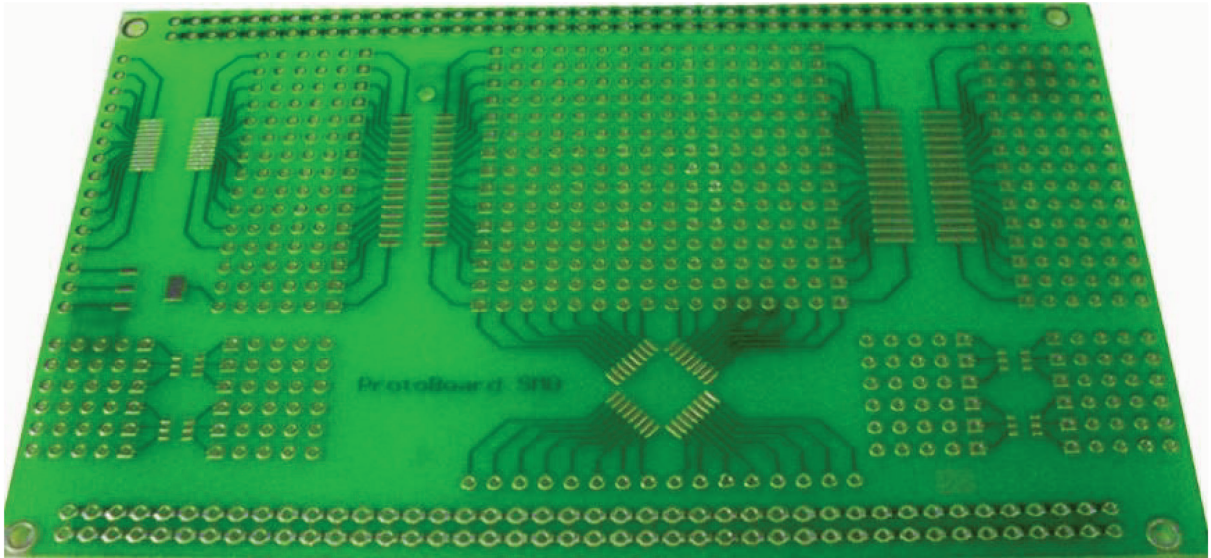
Fonte: Pacheco (2015)

Segundo Pacheco [25], por ocasião da carga deste material ser à base de celulose, este apresenta um problema no que é a absorção de umidade, prejudicando, assim, suas características isolantes e facilita o seu empenamento, porém ainda são utilizadas por hobistas e pequenos fabricantes, principalmente pelo seu custo.

2.5.2 Placas de Fibra de vidro

Em razão da placa de fenolite apresentar os problemas citados anteriormente, principalmente o de absorção de umidade, foram criadas as placas de fibra de vidro, figura 20.

Figura 20 - Placa de Epóxi com Fibra de Vidro



Fonte: Pacheco (2015)

De acordo com o autor *ibidem*, na verdade estas placas são feitas de resina epóxi possuindo internamente uma fina camada de fibra de vidro. Devido à utilização deste material epóxi as placas tornaram-se mais duras a sua perfuração, mas em contrapartida resolveu-se o problema da absorção de umidade. A dureza epóxi é idêntica à dureza do granito, necessitando assim a utilização de ferramentas especiais para sua perfuração, além é claro de estas serem até 30 vezes mais caras que as placas de fenolite.

2.5.3 Logística reversa (Reciclagem) de placas de PCI

Conforme Amaral [24], a Placa de Circuito Impressa montada com seus componentes tem uma composição muito heterogênea devido à diversidade da composição de materiais existentes nos componentes, devido a esta composição de diversos materiais a sua reciclagem torna-se muito difícil, com o crescimento do trabalho de reciclagem e o acúmulo de vários materiais nestas placas, vem sendo atraente a utilização destes materiais com outros termoplásticos para a confecção de novos compósitos, contribuindo assim para o controle do descarte destas placas na natureza.

No trabalho realizado pelo autor *ibidem*, foi feita uma demonstração da possibilidade de realização desta reciclagem e concluíram que além da grande importância ambiental no reaproveitamento das placas descartadas dos componentes

eletrônicos, os testes mecânicos mostram que as propriedades dos materiais compósitos nas seis configurações obtidas caracterizam possível uso em substituição ao PP puro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Poliestireno de Alto impacto (HIPS)

O Poliestireno de Alto impacto (HIPS), utilizado foi cedido pela empresa Innova tendo como características média fluidez e bom equilíbrio entre rigidez e impacto, são normalmente processados por extrusão e termoformagem ou por injeção, suas principais aplicações são para eletroeletrônicos e para embalagens. suas propriedades gerais são demonstradas conforme tabela 3 em anexo.

3.1.2 Copolímero grafitizado de estireno-acrilonitrila butadieno (ABS)

O ABS (copolímero grafitizado de estireno-acrilonitrila, formado na presença de polibutadieno) fornecido pela empresa Innova tem seus atributos evidenciados conforme a seguir. Suas propriedades gerais são demonstradas conforme tabela 4 em anexo.

3.1.3 Copolímero grafitizado de estireno acrilonitrila (SAN)

O SAN (copolímero grafitizado de estireno-acrilonitrila) NF 2200 fornecido pela empresa Innova tem suas características principais; explanadas conforme tabela 8 no anexo deste trabalho.

3.1.4 Pó de Vidro

O pó de vidro utilizado foi coletado na esteira de uma fábrica de vidros planos da região. Este material não passou por nenhum processo de moinho tendo sido coletado conforme demonstrado na forma da figura 21.

Figura 21 - Pó de vidro em granulometria recolhida nas esteiras de Processo

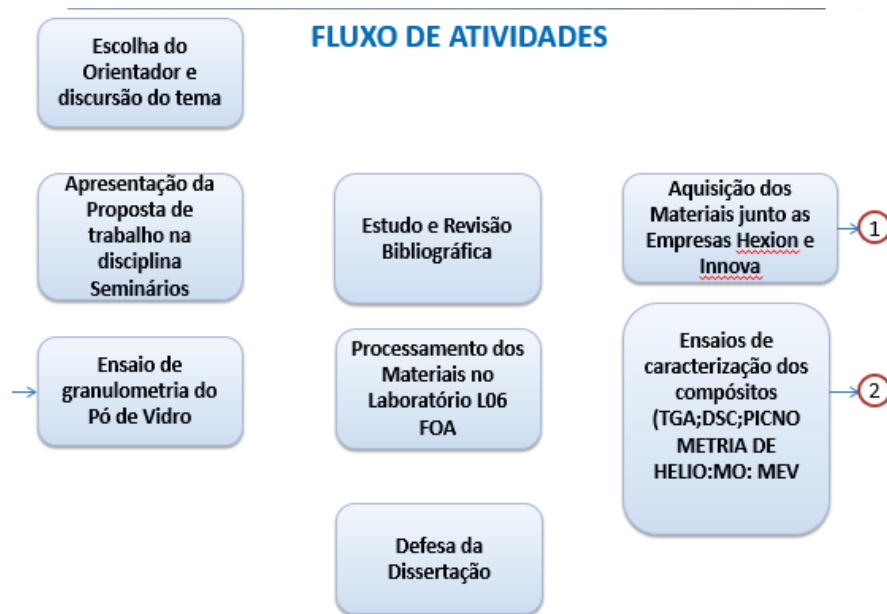


Fonte: O Autor

4 MÉTODOS

O processamento e caracterização dos materiais foram realizados nos laboratórios do UniFOA (Volta Redonda - RJ), localizados no prédio 12.

Figura 22 – Fluxograma de atividades



Fonte: O Autor, 2018

4.1.1 Determinação da granulometria do Pó de vidro utilizado

A separação granulométrica do pó de vidro utilizado na pesquisa foi realizada com base na NBR NM248: 2001 que substituiu a NBR 7217, no Laboratório UniFOA onde foi pesada uma porção de pó de vidro totalizando 300 g na balança MARK 5200 CLASSE 2 Max 5200 Min 0,5 g D= 0,01 g E= 0,1 g.

Após a pesagem, o material foi colocado no agitador de peneiras por 10 minutos. Obtendo o resultado conforme demonstrado na tabela 6. Vale ressaltar que para a composição dos compósitos nesta pesquisa, foi utilizado no trabalho a fração da peneira 100 mesh e apresentou a granulometria de 150 μm . Resultando em uma porção maior de material retido.

Tabela 6 - Teste Granulométrico Pó de Vidro

TIPO PENEIRA		PESO	PESO COM	MATERIAL	PESO TOTAL DO
		PENEIRA VAZIA	MATERIAL RETIDO	RETIDO EM CADA PENEIRA	MATERIAL MED 300 g
PENEIRA 20	850 μm	449,81 g	449,92 g	0,11 g	0,04%
PENEIRA 30	600 μm	325,64 g	325,94 g	0,3 g	0,10%
PENEIRA 40	425 μm	403,33 g	411,03 g	7,7 g	2,57%
PENEIRA 50	300 μm	348,00 g	441,60 g	93,6 g	31,20%
PENEIRA 100	150 μm	344,38 g	485,92 g	141,54 g	47,18%
PENEIRA 200	75 μm	313,92 g	353,99 g	40,07 g	13,36%
FUNDO		414,81 g	431,45 g	16,84 g	5,61%

Fonte: O Autor, 2018

4.1.2 Processo de Pesagem dos Materiais

Nesta etapa os materiais poliméricos utilizados como matriz (HIPS, ABS e SAN) e o material reforço (pó de vidro) foram pesados na balança fabricante Martex MOD AY 220, máx. 220g min 0,01g; d = 0,0001g, e = 0,001g.

4.1.3 Processo de Mistura dos Materiais Termoplásticos

As misturas destes materiais foram realizadas no Laboratório L-09 – LAB de Ensaio de Materiais no UniFOA.

Neste processo foi realizada a mistura dos materiais termoplásticos utilizados como matrizes (HIPS, ABS e SAN) com o material de reforço – pó de vidro – na granulometria de 150 μm , em proporções definidas durante o presente estudo, pois não foram encontradas nas bibliografias utilizadas e outros trabalhos desta natureza que pudessem fornecer uma orientação à presente pesquisa.

As misturas foram realizadas em uma porção de 70 g de material (100%), porque em uma primeira tentativa de realizar esta mistura em 100 g o polímero termoplástico não apresentou uma homogeneidade na mistura e os seus grãos não foram totalmente dissolvidos no processo.

Os termoplásticos utilizados como base no presente estudo foram pesados nas proporções de 90%, 85% e 80%, respectivamente 63 g, 59,5 g e 56 g tendo como reforço o pó de vidro também adicionado nas proporções de 10%, 15%, e 20% respectivamente 7 g, 10,5 g e 14 g.

Esta mistura foi realizada no equipamento, Homogeneizador de plásticos (misturador) da MH equipamentos Ltda., na figura 23.

Figura 23 - Misturador Homogeneizador



Fonte: O Autor, 2018.

4.1.4 Processo de Trituração dos Materiais Termoplásticos

Neste processo foi realizada a trituração dos materiais na máquina de trituração modelo Plastimax, no Laboratório L-09 – Laboratório de Ensaios de Materiais no UniFOA, passo este como preparação do material para posteriormente ser realizada a injeção.

4.2 DSC

Os ensaios de calorimetria exploratória diferencial (DSC) das misturas HIPS; ABS e SAN com o pó de vidro foram realizados em um equipamento marca PerkinElmer modelo DSC 7 na UFRJ – COOPE-RJ.

Utilizou-se uma panela de alumínio padrão, com uma primeira rampa de aquecimento -10 a 300°C à uma taxa de aquecimento 20°C/min e uma primeira rampa de resfriamento 300 a -10°C em um range de taxa de resfriamento 50°C/min; e uma

segunda rampa de aquecimento -10 a 300°C à uma Taxa de aquecimento 20°C/min; Atmosfera N₂ com fluxo gasoso 20 mL/min.

Para fins de cálculo, apenas o segundo aquecimento foi utilizado, destruindo-se assim a história térmica do material que poderia interferir com os resultados. Além disto, foi utilizado a temperatura máxima do pico para análise.

4.3 TGA

Segundo Gabriela Bueno [27] descreveu em seu trabalho, que o TGA pode ser definida como uma técnica termo analítica que verifica uma variação da massa da amostra em função de uma temperatura programada.

Marcílio [30] descreveu em sua dissertação de mestrado que a termogravimetria é uma técnica muito utilizada na análise de degradação de polímeros e muitos outros materiais, expondo estes materiais a uma temperatura elevada, pode-se algumas vezes alterar a estrutura química e por consequência a estrutura física destes materiais. Através de sua curva de degradação térmica em condições não isotérmicas, pode ser mostrado o perfil da resistência ou estabilidade térmica que o material apresenta quando submetido a uma variação programada de temperatura. Esses ensaios são geralmente realizados em uma termobalança ou analisador termogravimétrico.

4.4 Ensaios de Picnometria de Hélio

O ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização de Compósitos do DMT/FEG/UNESP. Utilizou-se o Analisador de Densidade Real, marca Quanta Chrome Instruments, modelo UltraFoam 1200e conforme demonstrado na figura a seguir.

Figura 24 - Analisador de Densidade Real marca Quantachrome Instruments



Fonte: O Autor

Realizou-se o ensaio em cada material em separado, HIPS puro, ABS puro, SAN puro, vidro na granulometria de 150 microns utilizado para as misturas e os compósitos termoplásticos HIPS, ABS e SAN com pó de vidro nas proporções 90/10; 85/15 e 80/20 respectivamente.

Segundo Pereira [28] descreveu em sua dissertação de mestrado que a picnometria de hélio é uma técnica muito utilizada para a obtenção do volume esquelético de um sólido através da redução do fluxo de gás em uma câmara de medida, ocasionada pela presença de um sólido. Com a penetração do gás hélio nos poros e nas superfícies irregulares do compósito, o volume obtido permite então determinar a densidade aparente de um sólido.

A autora *ibidem* relata que o hélio é o gás mais utilizado em virtude de o mesmo penetrar facilmente nos poros da amostra, e diante de seu reduzido tamanho dos átomos, propiciando assim a determinação do volume do sólido com mais rigor. Além disso, o gás hélio é inerte.

Pereira [29] descreveu em sua dissertação de mestrado que antes de iniciar a análise propriamente dita, cada amostra é sujeita a um processo de degaseificação que consiste em purgas com hélio, para remoção de impurezas, umidade e de voláteis que eventualmente possa conter.

4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

No ensaio de MEV, foi utilizado o microscópio de marca Hitachi modelo TM3000 (figura 24), localizado no UniFOA. Nesse ensaio, foi realizado MEV das partes do compósito triturado. O objetivo do ensaio por meio do MEV foi analisar microestrutura das amostras por meio de um detector de elétrons secundários.

A diferença de potencial emitida para os ensaios foi de 5 kV em ampliações de 25x; 50x; 100x e 200x, os ensaios foram feitos em ambiente de temperatura controlada de 20°C. Não foi realizada a metalização das amostras, mas foi possível obter boas imagens para o desenvolvimento das análises.

Figura 25 - Microscópio de marca Hitachi modelo TM3000.



Fonte : O Autor

4.6 Determinação da fração de fibras no compósito

Para se calcular a fração volumétrica do reforço considerou-se o teor de Polímero (HIPS; ABS e SAN) com o esperado para os compósitos e foi utilizada a equação nº 01

$$\% \text{ polimcomp} = \left(\frac{\% \text{ polim} * \rho \text{ polim}}{\rho \text{ comp}} \right) * 100 \quad (1)$$

Nesta equação, o ρ_{Comp} corresponde a massa específica do compósito formado (HIPS; ABS ou SAN) adicionado do reforço pó de vidro;

onde:

ρ_{polim} = a massa específica do polímero;

$\rho_{pó\ de\ vidro}$ = a massa específica do pó de vidro;

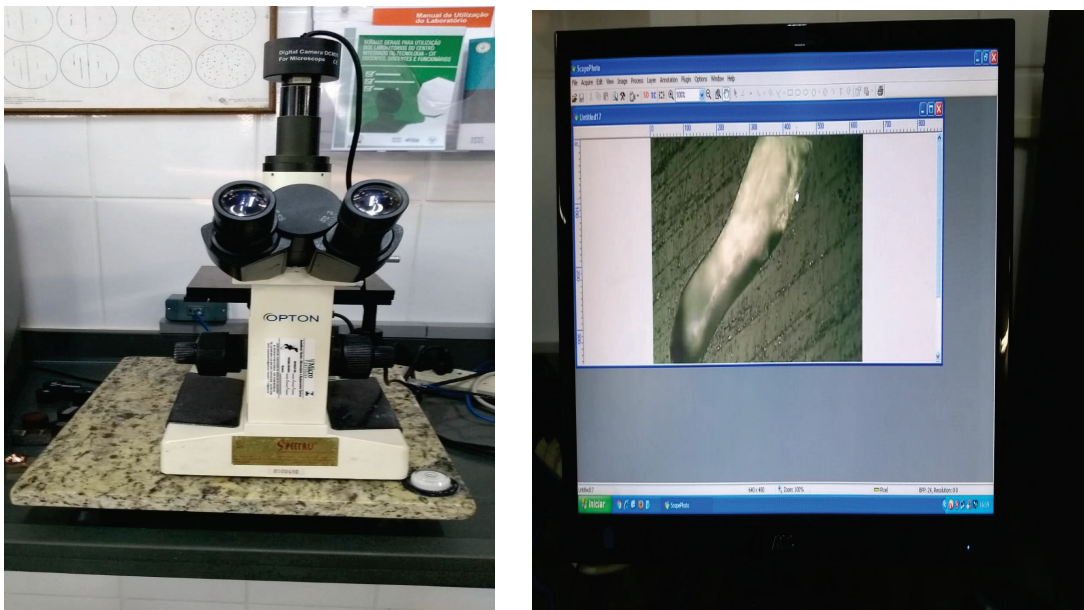
$\%_{polim}$ = teores de polímeros;

$\%_{pó\ de\ vidro}$ = teores pó de vidros ;

4.7 Microscopia Ótica (MO)

Para a visualização da amostra no Microscópio Óptico (MO), Microscópio metalografico invertido, da marca Opton, MODELO TNM – 07 T - PL localizado no UniFOA, foi realizado o embutimento à frio de fragmentos triturados das amostras HIPS; ABS e SAN Puro e das misturas HIPS; ABS e SAN nas proporções 90/10; 85/15 e 80/20. Usou-se lente ocular de 10x e as lentes objetivas de 10x, 20x e 40x, que, juntas, proporcionam as ampliações de 100x, 200x e 400x das imagens.

Figura 26 - Microscópio ótico Opton



Fonte: O Autor, 2018

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DSC das bases termoplásticas

5.1.1 DSC das bases termoplásticas ABS

De acordo com a literatura, a maioria dos ABS produzidos comercialmente apresentam entre dois e três efeitos térmicos distintos.

O primeiro efeito ocorre em torno de -85°C e não está presente em todos os polímeros do tipo ABS pois corresponde a transição vítrea do polibutadieno e depende da sua quantidade na composição do polímero. Entretanto, este efeito térmico não pode ser observado nas amostras testados devido as limitações de resfriamento do equipamento utilizado para análise.

O segundo efeito térmico corresponde a uma transição vítrea decorrente do poliestireno e ocorreu em torno de 112°C para as amostras estudadas (Tabela 7) (Figuras de 25 a 28).

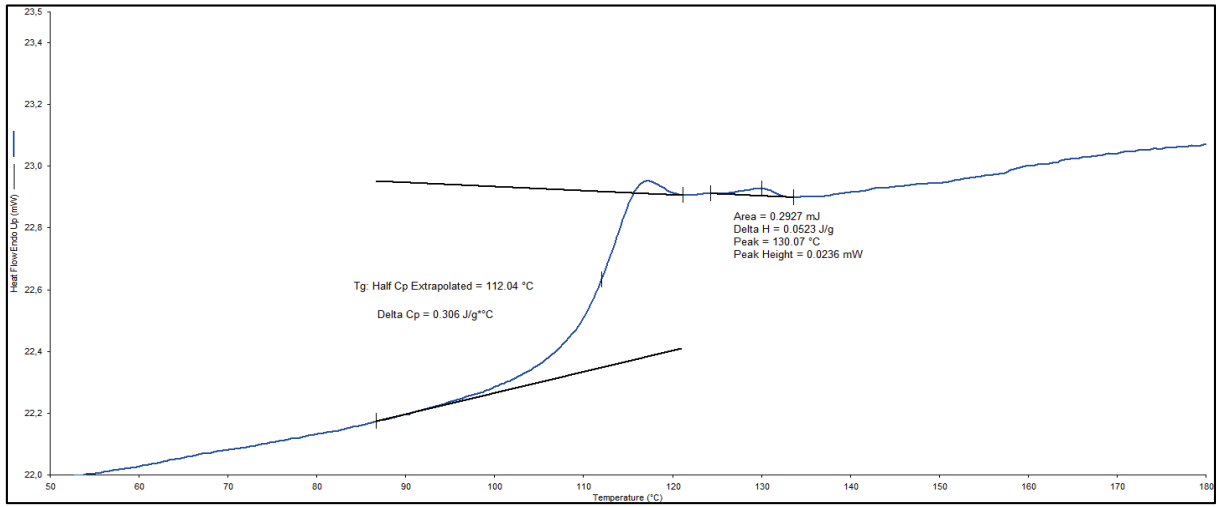
Já o último efeito térmico se apresenta na forma de um pico. No caso desta amostra, ele apresenta baixa intensidade, sendo observado apenas na análise do polímero puro (Figura 1), sendo indicativo de quantidades pequenas de poliacrilonitrila. Alguns autores, correlacionam este pico, que ocorre em torno de 130°C , ao lubrificante utilizado na composição do polímero ou ao desmoldante.

Tabela 7 – Temperaturas de transições vítreas no ponto médio e do pico no polímero ABS puro e dos compósitos estudados.

Material	Tg do polibutadieno ($^{\circ}\text{C}$)	Tg do poliestireno ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura de pico da poliacrilonitrila ($^{\circ}\text{C}$)
ABS puro	---	112,04	130,07
ABS 80-20	---	112,43	---
ABS 85-15	---	111,37	---
ABS 90-10	---	112,04	---

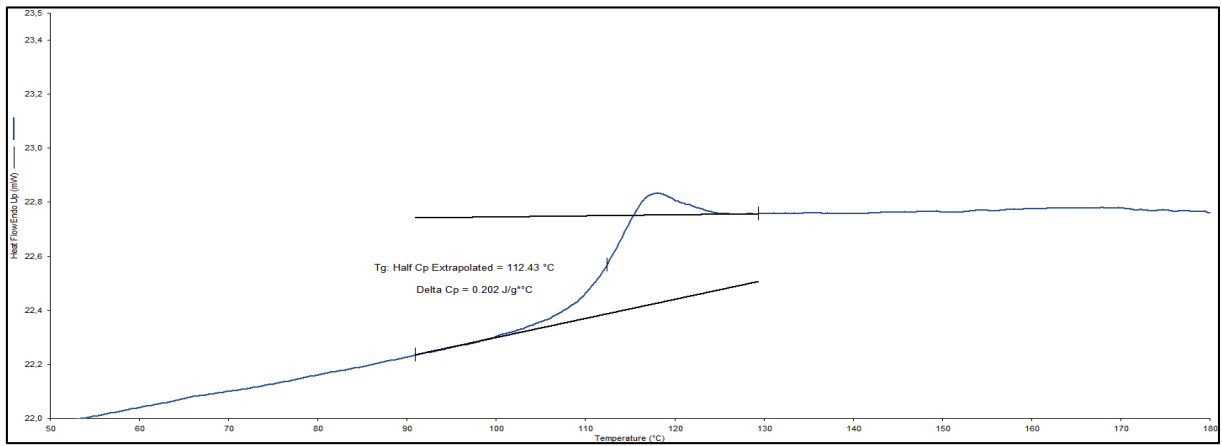
Fonte: o autor, 2018

Figura 27 - Análise do ABS puro via DSC



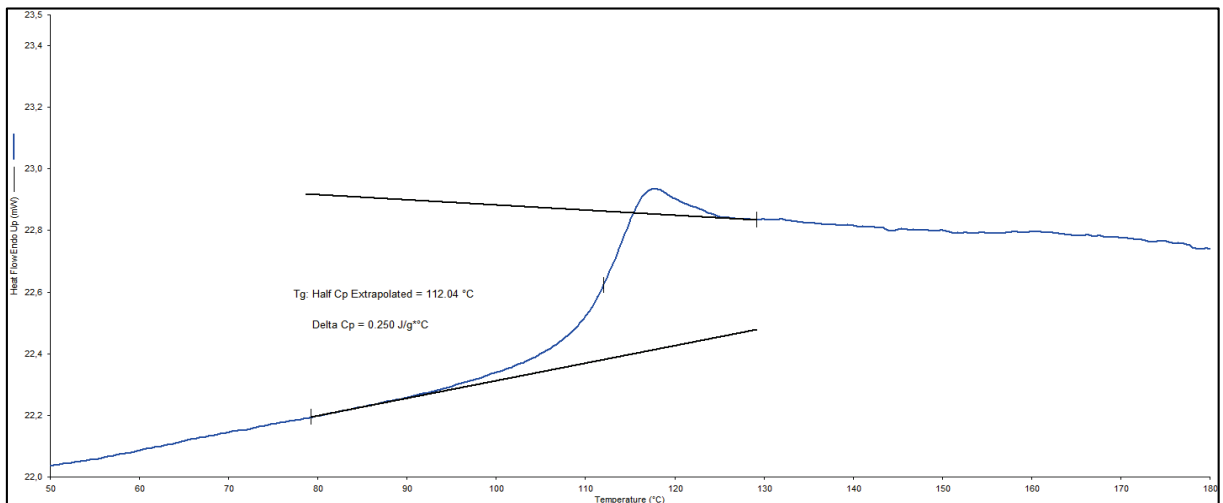
Fonte: o autor, 2018

Figura 28 - Análise do ABS ABS 80-20 via DSC



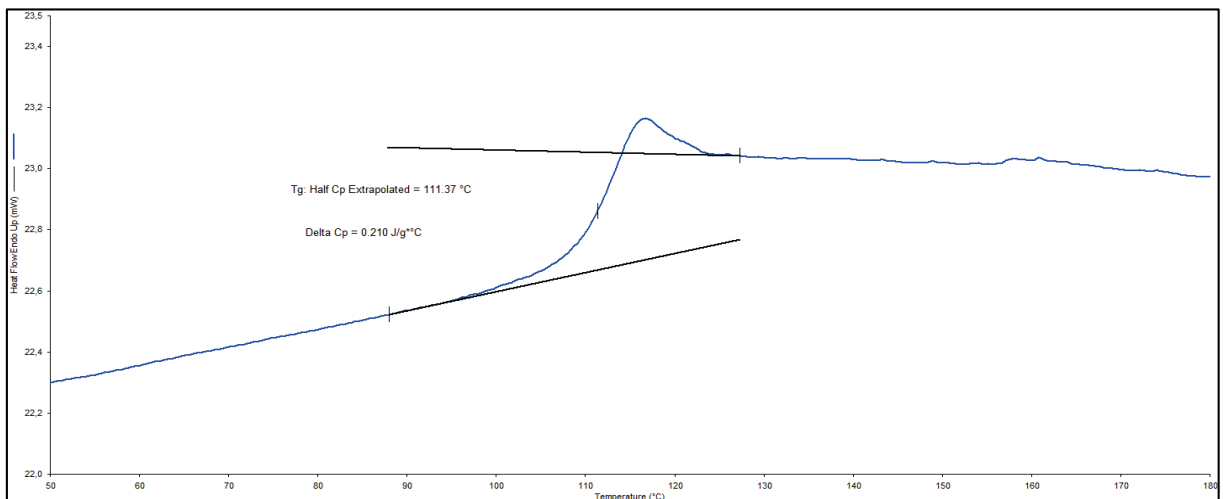
Fonte: o autor, 2018

Figura 29 - Análise do ABS 85-15 via DSC



Fonte: o autor, 2018

Figura 30 - Análise do ABS 90-10 via DSC



Fonte: o autor, 2018

5.1.2 DSC das bases termoplásticas SAN

Devido a sua composição, o SAN, apresenta dois efeitos térmicos bem característicos. O primeiro efeito térmico, semelhante ao segundo efeito térmico do ABS, se caracteriza por uma transição vítrea que ocorre devido ao rearranjo de sua estrutura amorfa do poliestireno. Estas temperaturas, para as amostras estudadas, apresentaram valores próximos a 107°C, ver (Tabela 8) (Figuras de 29 a 32).

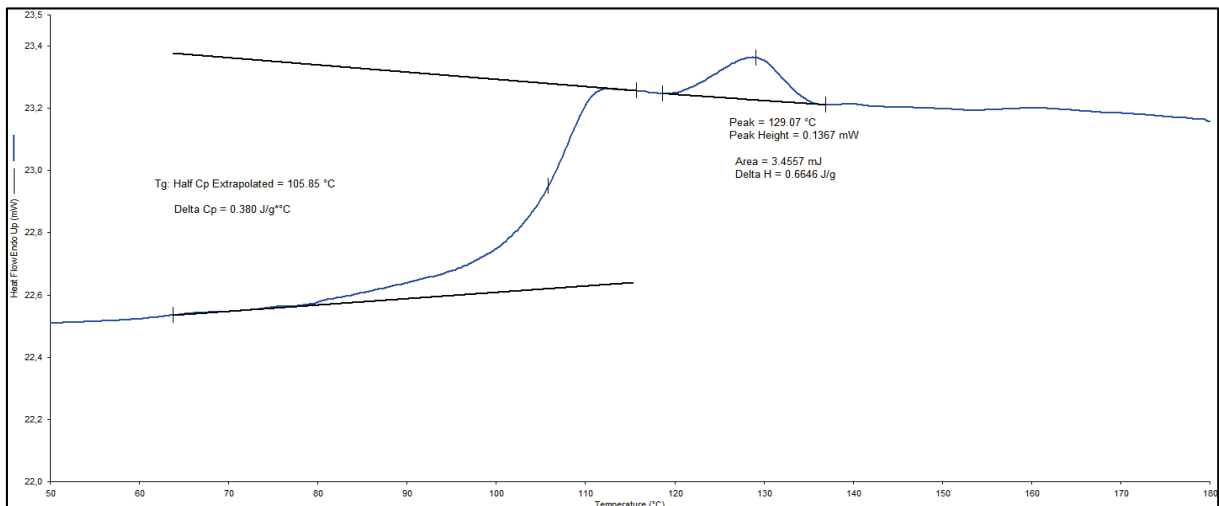
Entretanto, o segundo efeito térmico, que pode ser observado como um pico a 129°C e apresenta baixa intensidade, está presente apenas no polímero puro (Figura

29). Esta diferença pode ser decorrente da presença do vidro na composição do material.

Tabela 8 - Temperaturas de transições vítreas no ponto médio e do pico no polímero SAN puro e dos compósitos estudados.

Material	Tg do poliestireno (°C)	Temperatura de pico da poliácrlonitrila (°C)
SAN puro	105,85	129,07
SAN 80-20	108,12	---
SAN 85-15	107,94	---
SAN 90-10	106,56	---

Fonte: o autor, 2018



Fonte: o autor, 2018

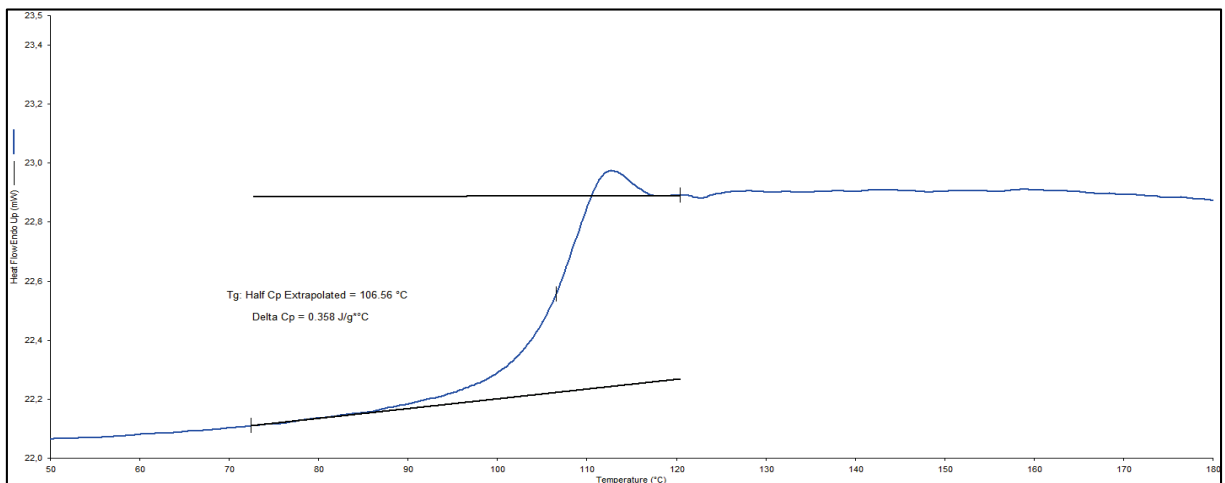
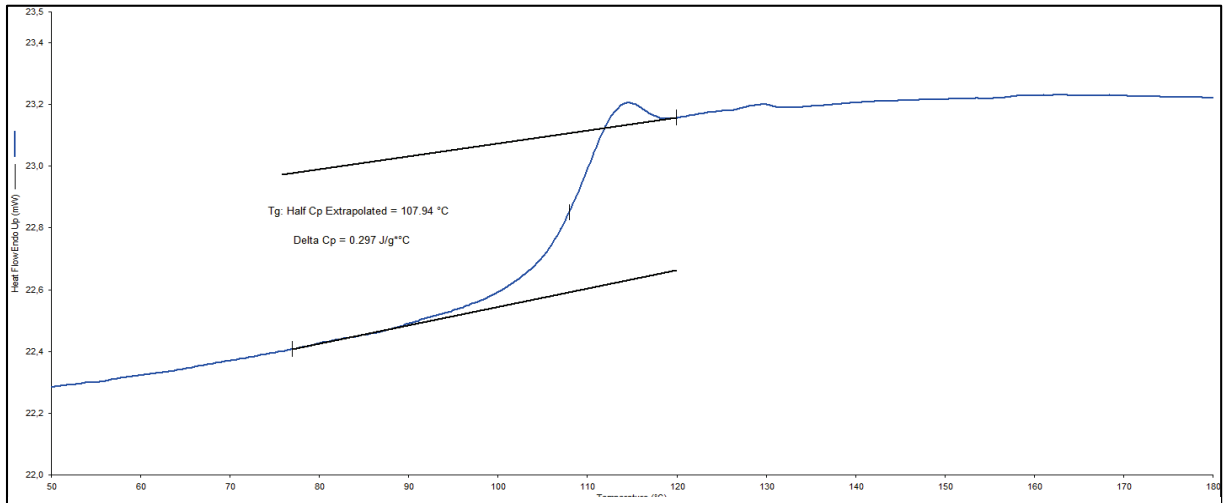
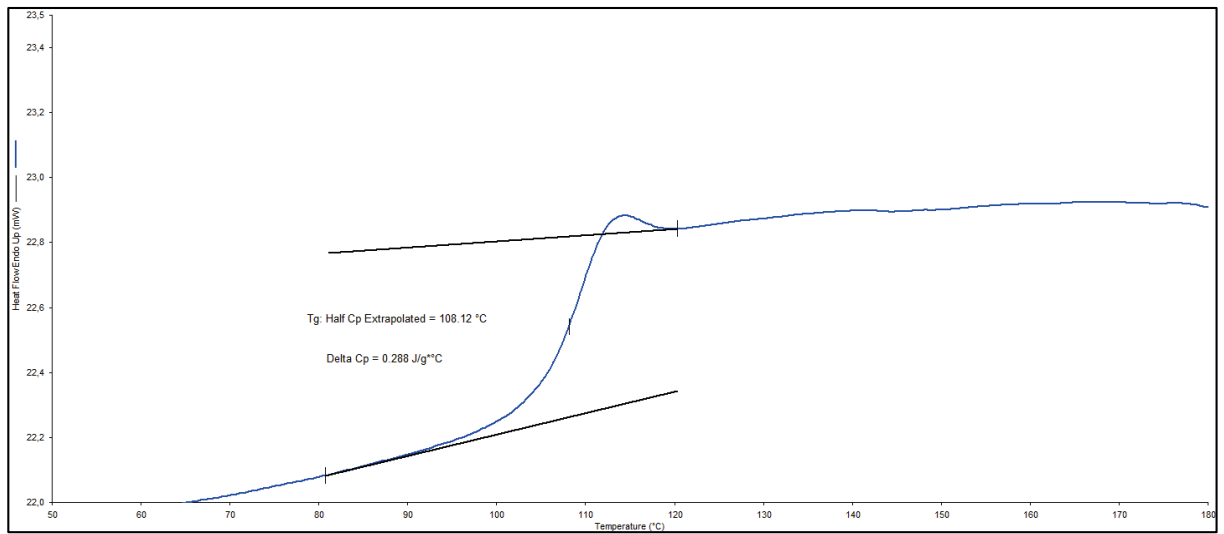


Figura 30 - Análise do SAN 80-20 via DSC



Fonte: o autor, 2018



Fonte: o autor, 2018

5.1.3 DSC das bases termoplásticas HIPS

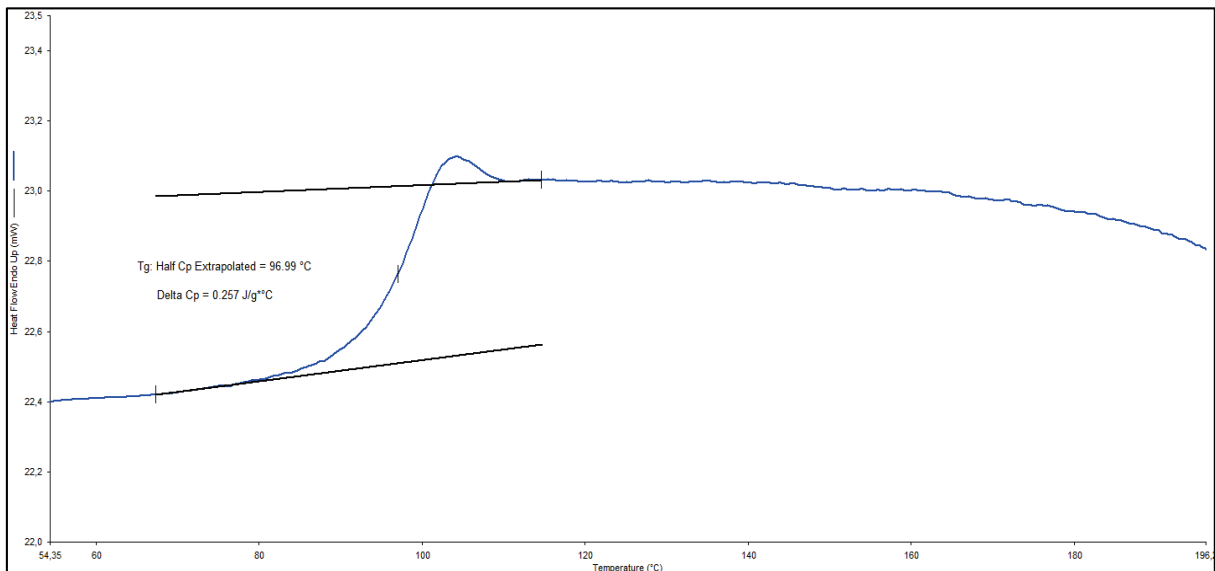
Com uma composição baseada no poliestireno, este material apresenta uma transição vítrea próximo a 110°C, conforme observado durante as análises (Tabela 9) (Figuras 33 a 36).

Tabela 9 - Temperaturas de transições vítreas no ponto médio do HIPS e dos compósitos estudados.

Material	Tg do poliestireno (°C)
HIPS puro	105,85
HIPS 80-20	108,12
HIPS 85-15	107,94
HIPS 90-10	106,56

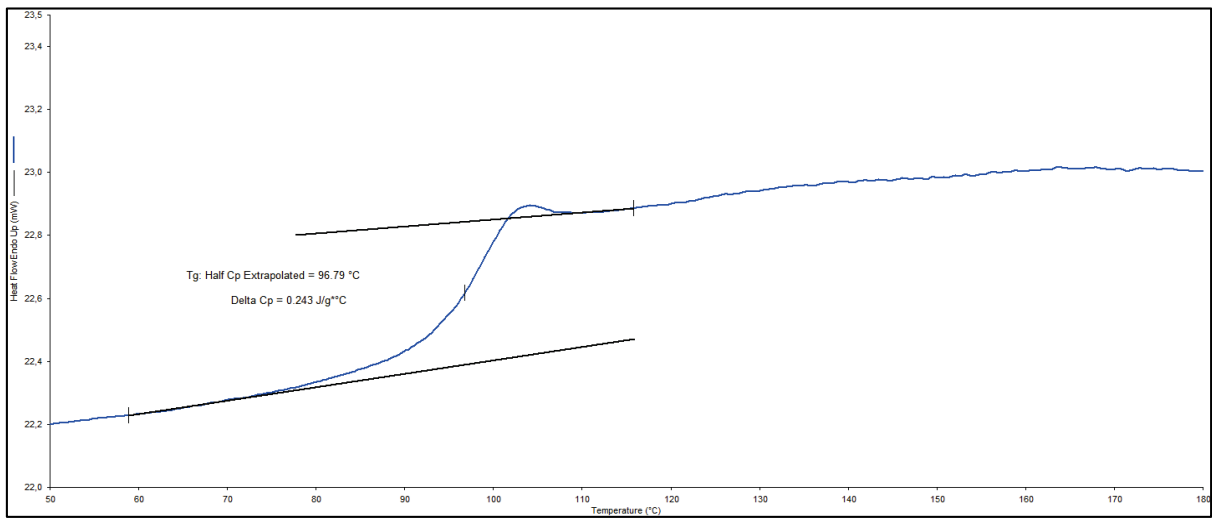
Fonte: o autor, 2018

Figura 33 - Análise do HIPS puro via DSC



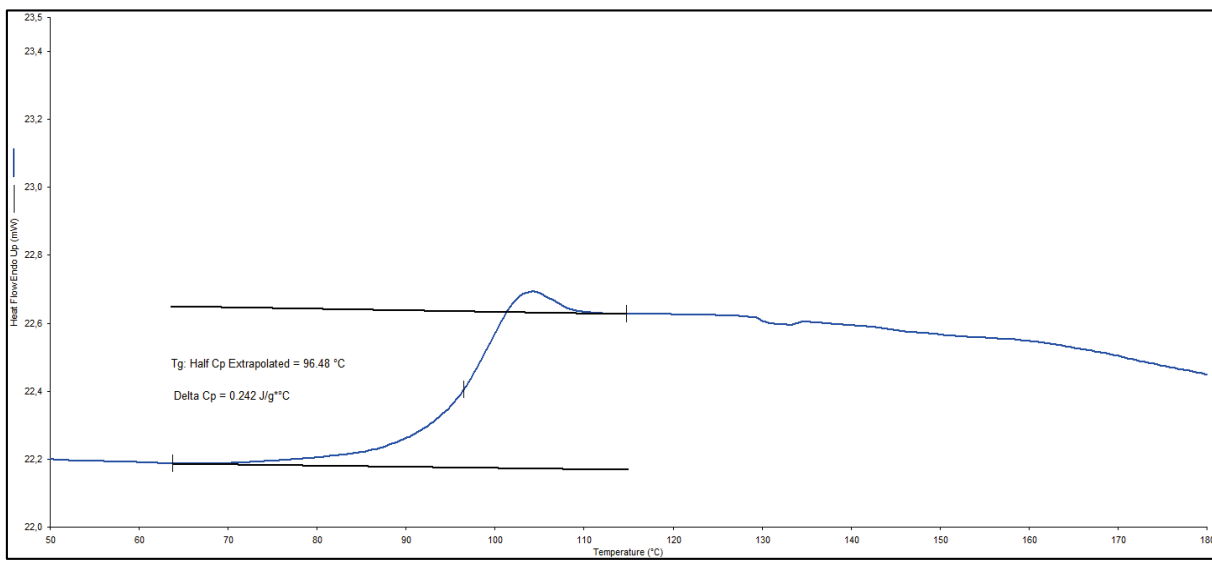
Fonte: o autor, 2018

Figura 34 - Análise do HIPS 80-20 via DSC



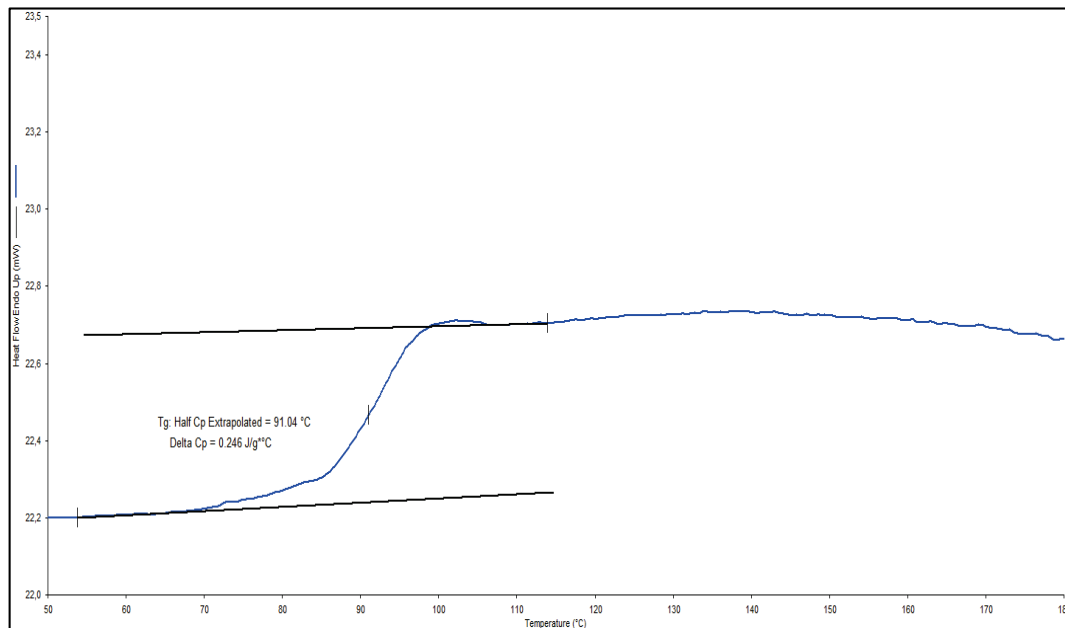
Fonte: o autor, 2018

Figura 35 – Análise do HIPS 85-15 via DSC



Fonte: o autor, 2018

Figura 36 - Análise do HIPS 90-10 via DSC



Fonte: o autor, 2018

A diferença entre os resultados obtidos e os valores fornecidos pelo fabricante podem ser devidos aos diferentes métodos de medidas utilizados, uma vez que o datasheet não especifica a metodologia utilizada.

5.2 TGA das bases Termoplásticas

Observou-se apenas um degrau, o que caracteriza a perda de massa de um material puro ou que se comporta como tal. Neste caso, observa-se apenas a degradação do polímero.

As temperaturas de início de degradação bem como as temperaturas de onset e endset se apresentam coerentes entre si e próximas às temperaturas de degradação dos polímeros estudados que é de 380 à 520 °C para o ABS; 350 à 400°C para o HIPS e 380 à 440° C.

Os percentuais de resíduo para o ABS (que neste caso é o vidro) estão próximos aos especificados de 10, 15 e 20%, bem como a perda de massa.

Para o HIPS e o SAN, entretanto, apresenta um % de resíduos para as amostras do HIPS 9010 e do HIPS 8515, acima e abaixo, respectivamente, de que era esperado (10 e 15%). Isto pode ter ocorrido devido a uma amostragem não

representativa, uma vez que para esta análise usa-se apenas 10 mg da amostra, ou uma não homogeneidade na amostra.

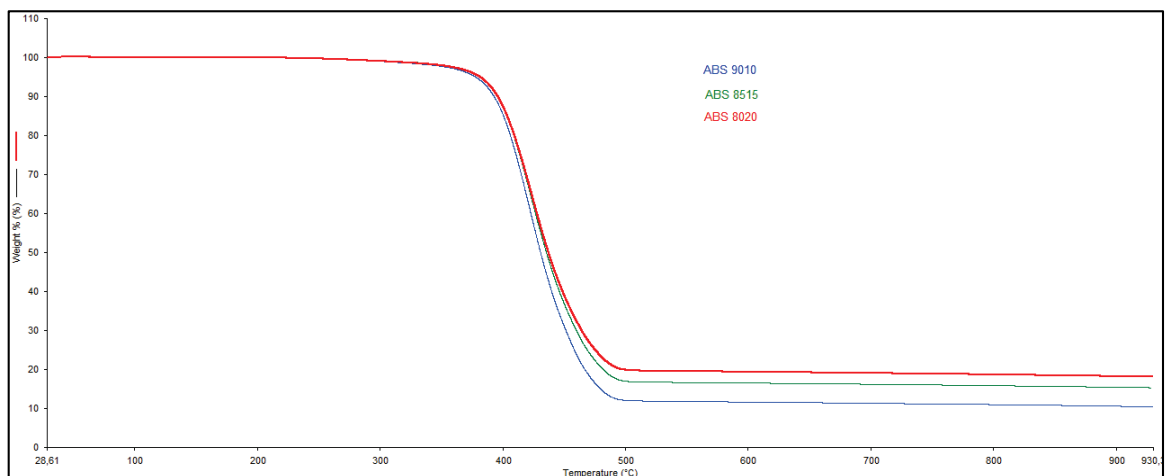
A tabela 10, obtida a partir dos resultados provenientes do ensaio de TGA representa os resultados comentados no texto acima. E os resultados representados nos gráficos de ABS, HIPS E SAN confirmam essas conclusões apresentadas.

Tabela 10 - Análise de TGA dos Compósitos

	ABS 9010	ABS 8515	ABS 8020	HIPS 9010	HIPS 8515	HIPS 8020	SAN 9010	SAN 8515	SAN 8020
Ti (°C)	217,93	216,47	221,53	215,37	216,34	220,45	3335,27 °C	325,65 °C	322,92 °C
Onset (°C)	390,42	392,90	388,85	414,05	413,98	412,29	3390,88 °C	390,42 °C	387,21 °C
Endset (°C)	464,97	466,53	465,99	459,73	456,87	458,16	4432,58 °C	390,42 °C	430,68 °C
Perda de massa entre 30 e 920°C (%)	89,5738	84,6721	81,9137	85,8752	86,2860	80,8925	89,4597%	86,5051%	81,9327%
Resíduo a 900°C (%)	10,5879	15,4591	18,2378	14,2604	13,8453	19,2662	110,6737 %	13,6583 %	18,0947 %
Número de perdas	11	11	11	11	11	11	1	1	1

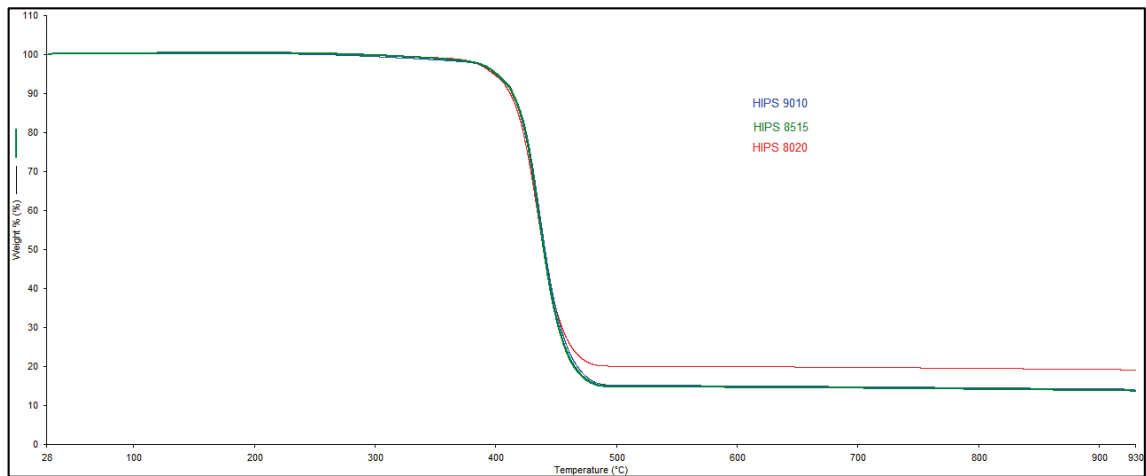
Fonte: o autor, 2018.

Figura 37 - Análise do ABS 90/10; 85/15 e 80/20 via TGA



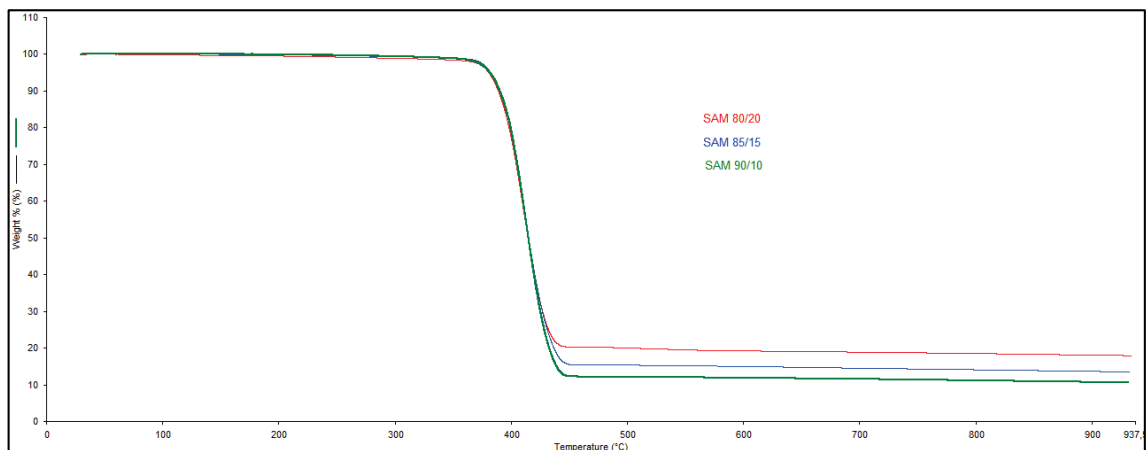
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 38 - Análise do HIPs 90/10; 85/15 e 80/20 via TGA



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 39 - Análise do SAN 90/10; 85/15 e 80/20 via TGA



Fonte: O Autor, 2018.

5.3 Ensaios de Picnometria de Hélio

Tabela 3 – Massa específica dos compósitos do HIPS por meio da análise de picnometria de hélio.

AMOSTRAS	Massa Específica da HIPS Puro (g/cm ³)	Massa Específica do Pó de vidro 150 m (g/cm ³)	Massa Específica da Mistura Hips vidro 80-20 (g/cm ³)	Massa Específica da Mistura Hips vidro 85-15 (g/cm ³)	Massa Específica da Mistura Hips vidro 90-10 (g/cm ³)
1º	1,0378	2,6115	1,1075	1,0604	1,1290
2º	1,0301	2,5748	1,1039	1,0589	1,1295

3°	1,0378	2,7399	1,1023	1,0693	1,1292
Média	1,0352	2,6421	1,1046	1,0630	1,1292
Desvio Padrão	0,00445	0,08669	0,00266	0,00591	0,00025
CV%	0,43	3,3	0,24	1	0,02

CV* = Coeficiente de variação

Fonte: O Autor, 2018.

Tabela 4 – Massa específica dos compósitos do ABS por meio da análise de picnometria de hélio.

AMOSTRAS	Massa Específica da ABS Puro (g/cm³)	Massa Específica do Pó de vidro 150 m (g/cm³)	Massa Específica da Mistura ABS vidro 80-20 (g/cm³)	Massa Específica da Mistura ABS vidro 85-15 (g/cm³)	Massa Específica da Mistura ABS vidro 90-10 (g/cm³)
1°	1,1116	2,6115	1,1793	1,1159	1,0893
2°	1,0636	2,5748	1,1939	1,1419	1,0917
3°	1,0615	2,7399	1,1766	1,1363	1,0924
Média	1,0789	2,6421	1,1833	1,1314	1,0931
Desvio Padrão	0,02834	0,08669	0,00931	0,01368	0,00425
CV%	3	3,3	1	1	0,4

CV* = Coeficiente de variação

Fonte: O Autor, 2018

Tabela 5 – Massa específica dos compósitos do SAN por meio da análise de picnometria de hélio.

AMOSTRAS	Massa Específica da SAN Puro (g/cm³)	Massa Específica do Pó de vidro 150 m (g/cm³)	Massa Específica da Mistura SAN vidro 80-20 (g/cm³)	Massa Específica da Mistura SAN vidro 85-15 (g/cm³)	Massa Específica da Mistura SAN vidro 90-10 (g/cm³)
1°	1,0610	2,6115	1,2117	1,1556	1,1397
2°	1,0377	2,5748	1,2158	1,1600	1,1417
3°	1,0641	2,7399	1,2190	1,1534	1,1436
Média	1,0543	2,6421	1,2155	1,1563	1,1417
Desvio Padrão	0,01443	0,08669	0,00366	0,00336	0,00195
CV%	1	3,3	0,3	0,3	0,2

CV* = Coeficiente de variação

Fonte: O Autor, 2018.

Através das análises de picnometria de hélio, pode-se verificar que a adição do pó de vidro as bases HIPS, ABS e SAN não acarretou um aumento significativo na massa específica dos compósitos processados, quando comparado as bases HIPS puro, ABS puro e SAN puro conforme apresentado nas Tabelas acima. Portanto com a Adição de Pó de vidro nas proporções de 10,15 e 20 % as bases termoplásticas mantem suas densidades e apropriadas para confecção dos referidos compósitos.

Em relação a massa específica dos compósitos pode-se dizer que quando foi adicionado o reforço de vidro mesmo com a diminuição da base (HIPS, SAN ou ABS) não ocorreu uma perda de massa no compósito em relação a base.

5.4 Análises de MEV

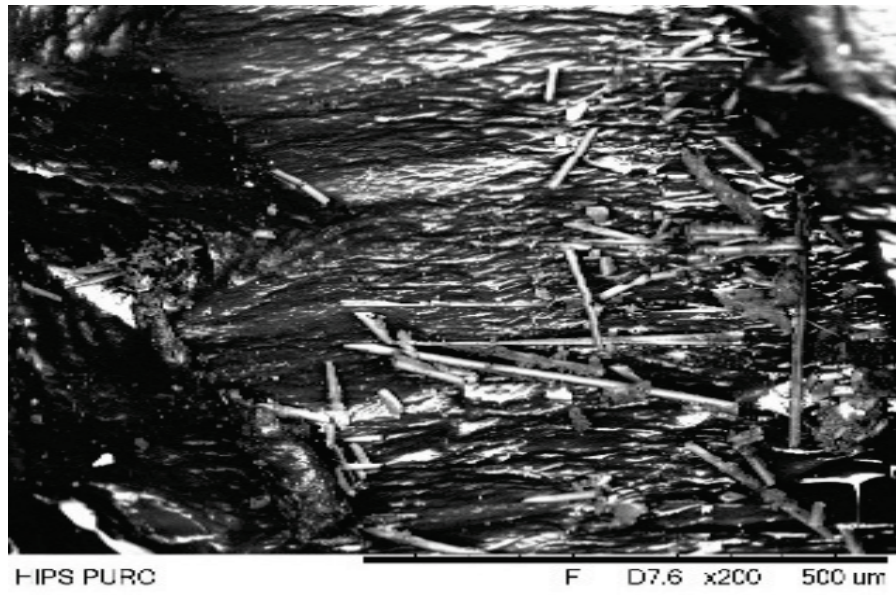
De forma a encontrar a caracterização micro estrutural do compósito triturado através de suas propriedades e verificar a incorporação do vidro realizou-se o MEV dos compósitos estudados e pode-se conferir nas famílias dos compósitos e nas devidas ampliações 25; 50; 100 e 200 vezes que a base HIPS, ABS e SAN que houve uma aderência do pó de vidro criando assim uma heterogeneidade nos materiais misturados.

O MEV, por apresentar excelente profundidade de foco, permite a análise com grandes aumentos de superfícies irregulares, como a homogeneidade das misturas. Como o material estudado não passou pelo processo de metalização, acredita-se que pela cristalinidade presente nos polímeros permitiu uma melhor leitura dos feixes de elétrons injetados na mistura. [31]

Pelas imagens, 41 a 52 percebe-se claramente a distribuição homogênea das partículas do pó de vidro, o que leva-se a perceber que o processo de mistura foi bem realizado. Pode-se perceber também que a densidade do polímero se manteve com a distribuição do pó de vidro, visto na ampliação maior uns buracos no material base (HIPS, ABS e SAN), Mas que com a distribuição do material reforço (pó de vidro) remetendo a uma ideia de que este material após injetado terá uma boa resistência.

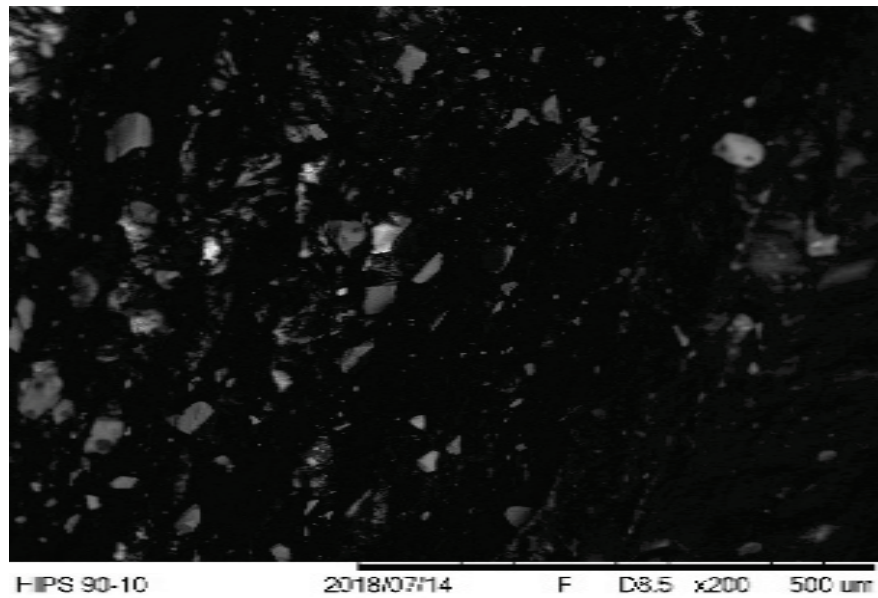
As imagens de MEV foram realizadas nas ampliações 25/50/100 e 200 vezes, porem para melhor visualização utilizou-se apenas as de 200 vezes para melhor compreensão do leitor.

Figura 40 - MEV do HIPs Puro (Ampliação, 200)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 41 - MEV do HIPs 90/10 (Ampliação, 200)



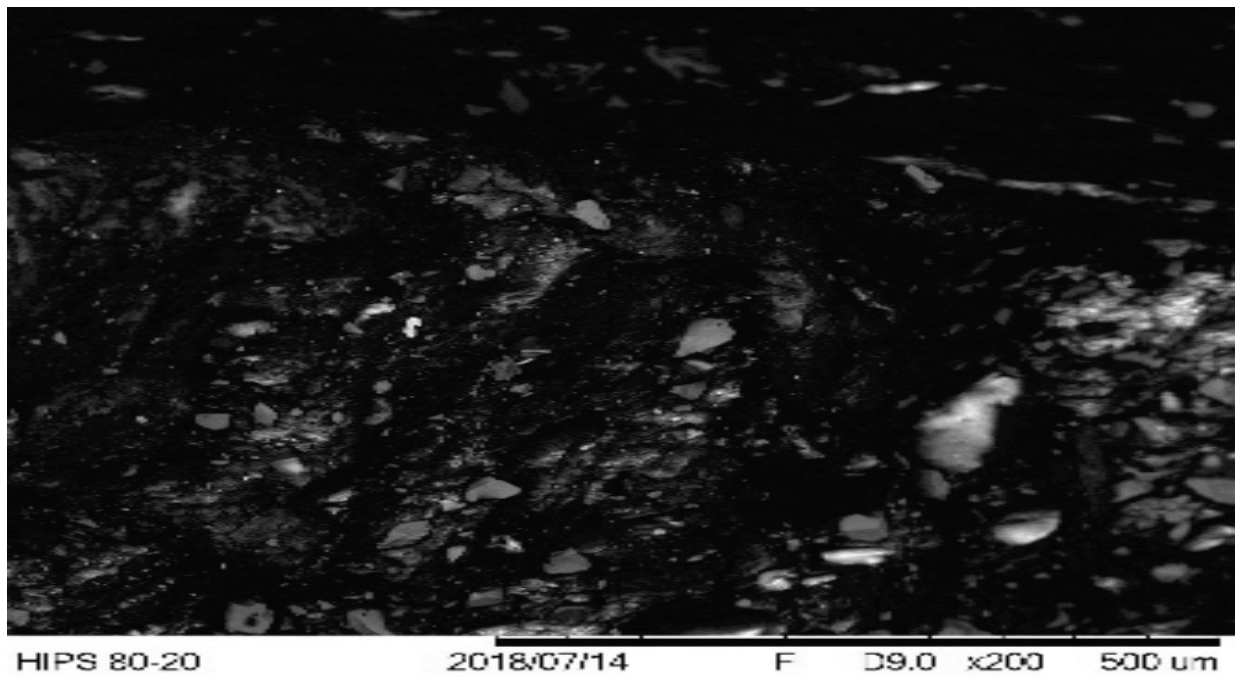
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 42 - MEV do HIPs 85/15 (Ampliação, 200)



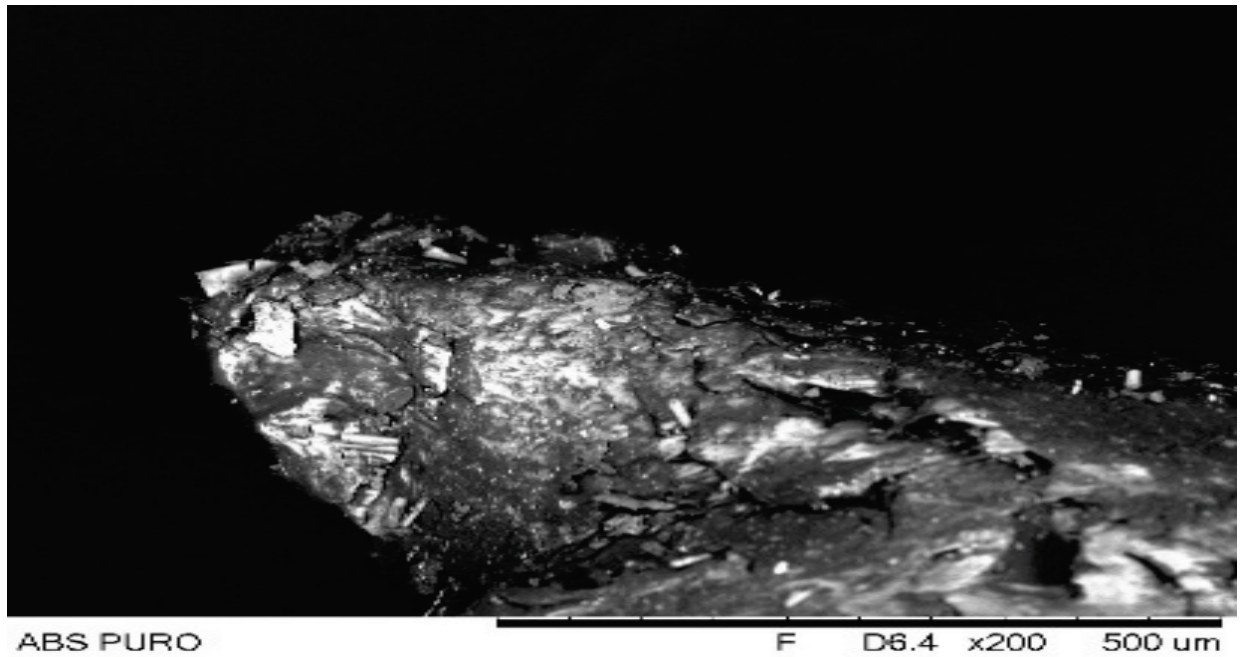
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 43 - MEV do HIPs 80/20 (Ampliação, 200)



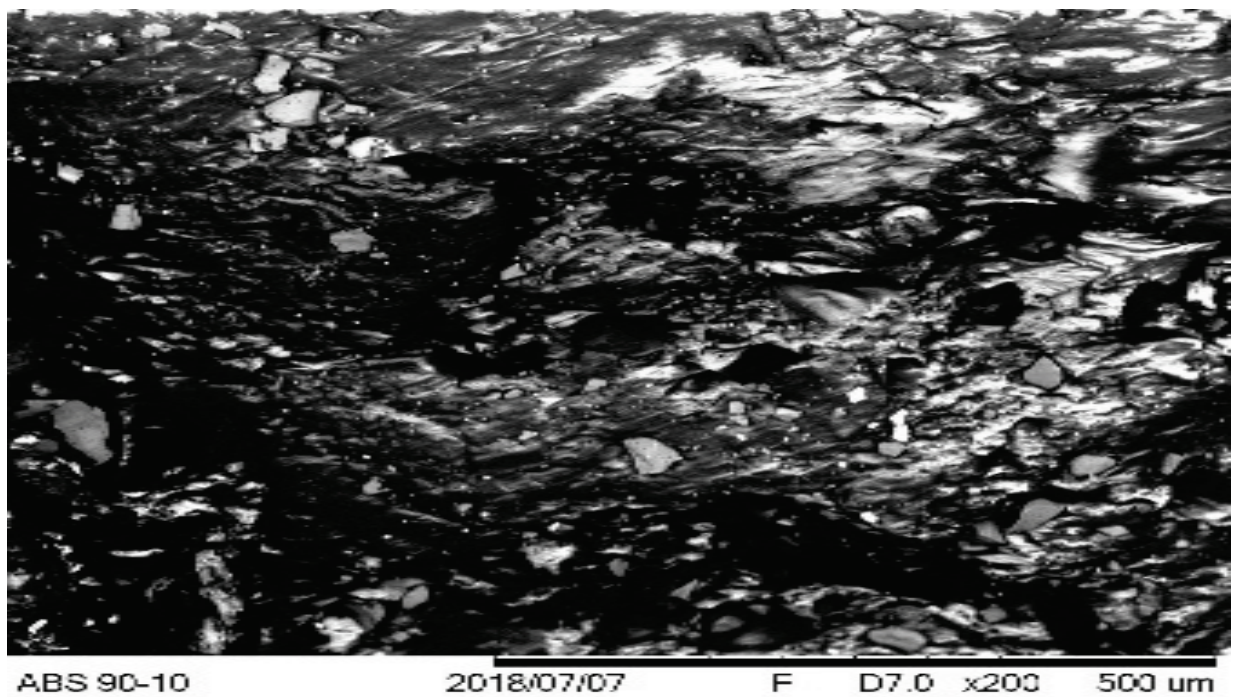
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 44 - MEV do ABS Puro (Ampliação, 200)



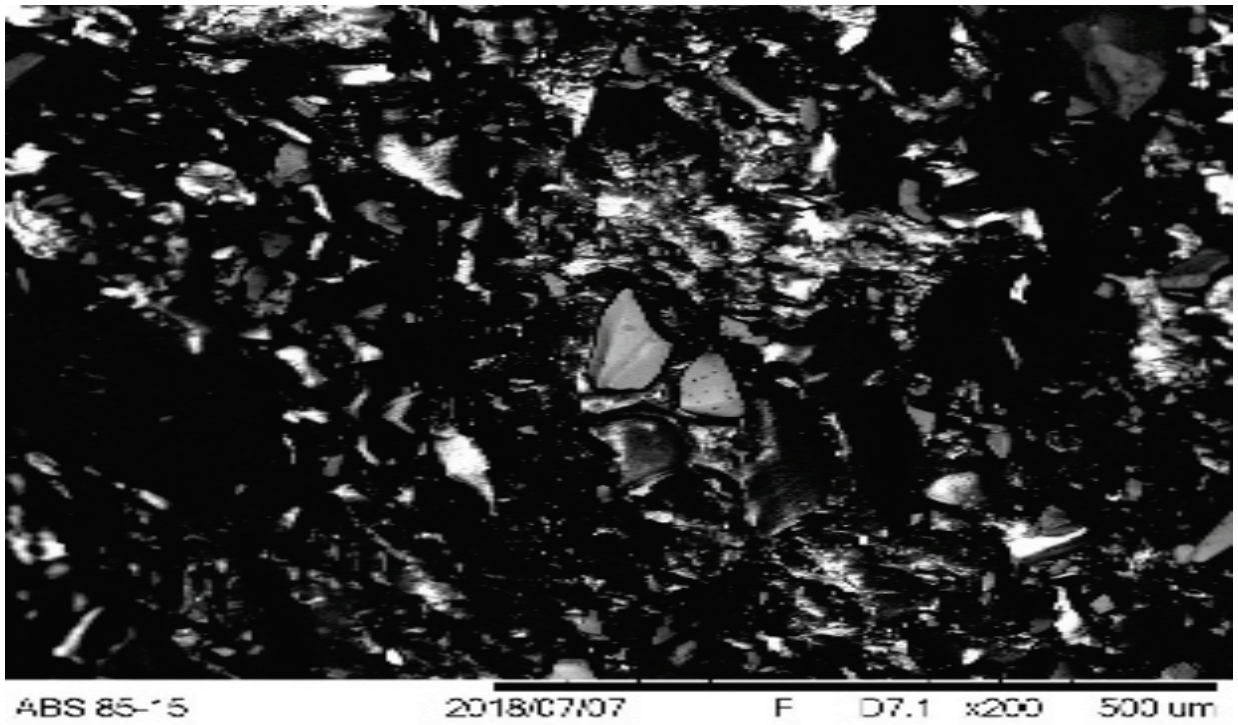
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 45 - MEV do ABS 90/10 (Ampliação, 200)



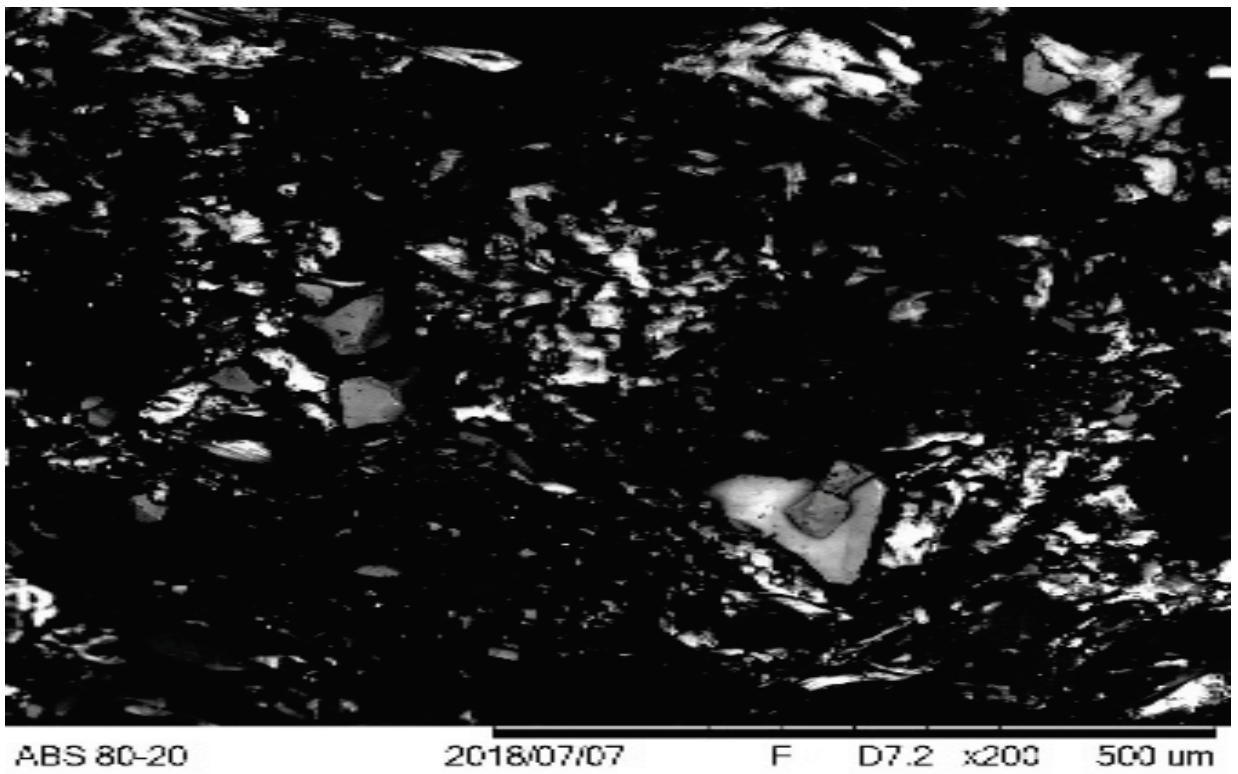
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 46 - MEV do ABS 85/15 (Ampliação, 200)



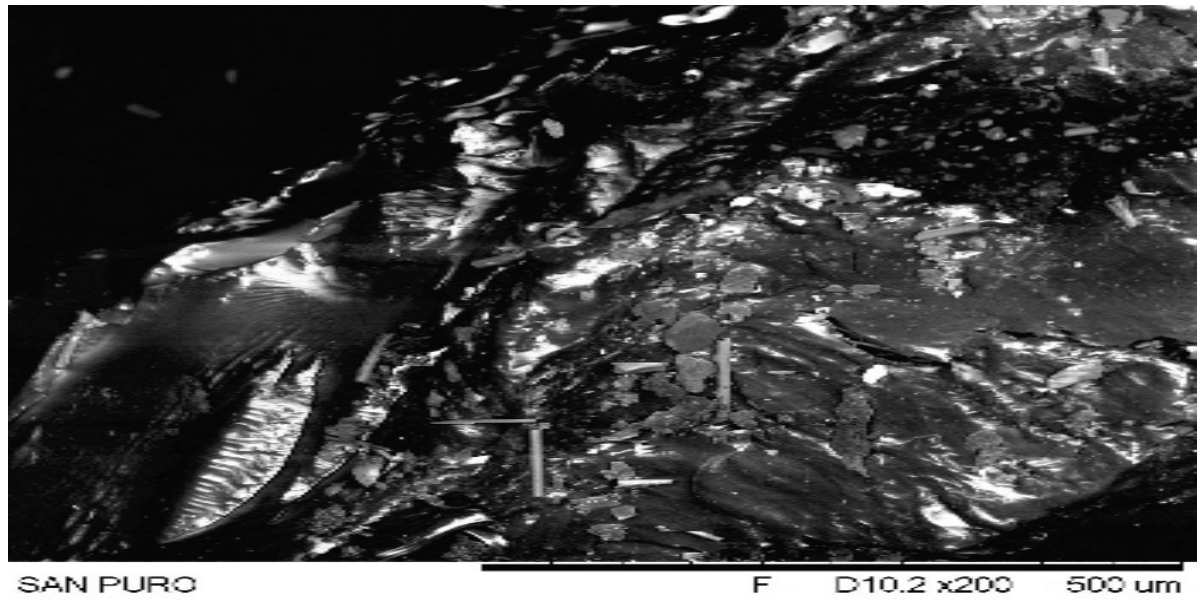
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 47 - MEV do ABS 80/20 (Ampliação, 200)



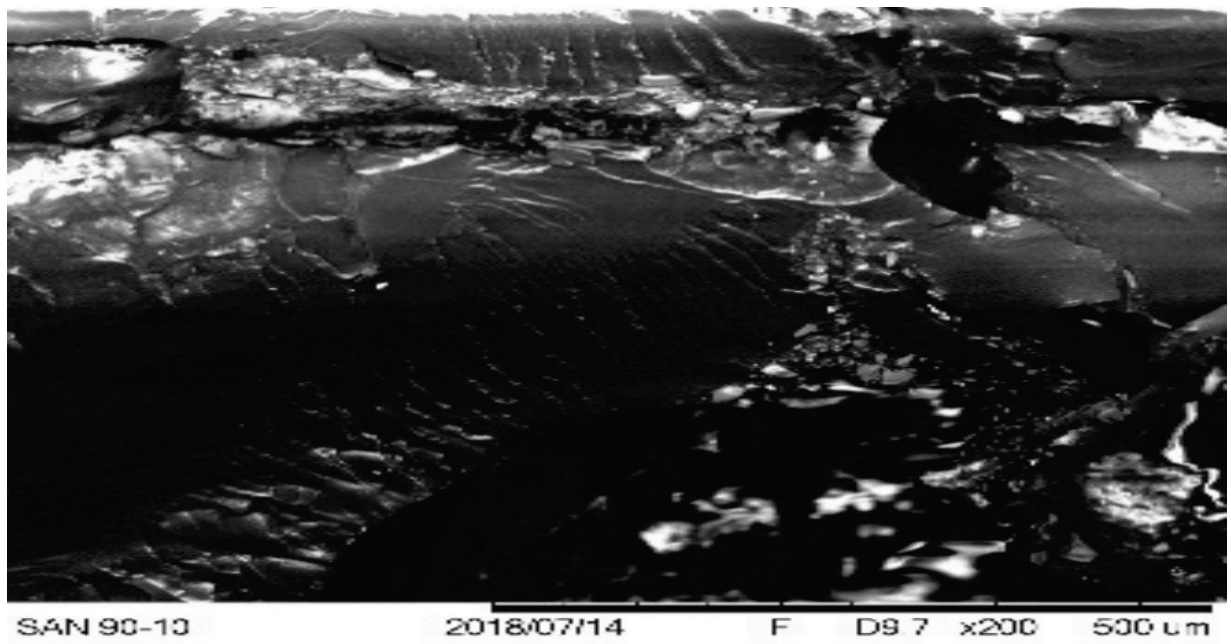
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 48 - MEV do SAN Puro (Ampliação, 200)



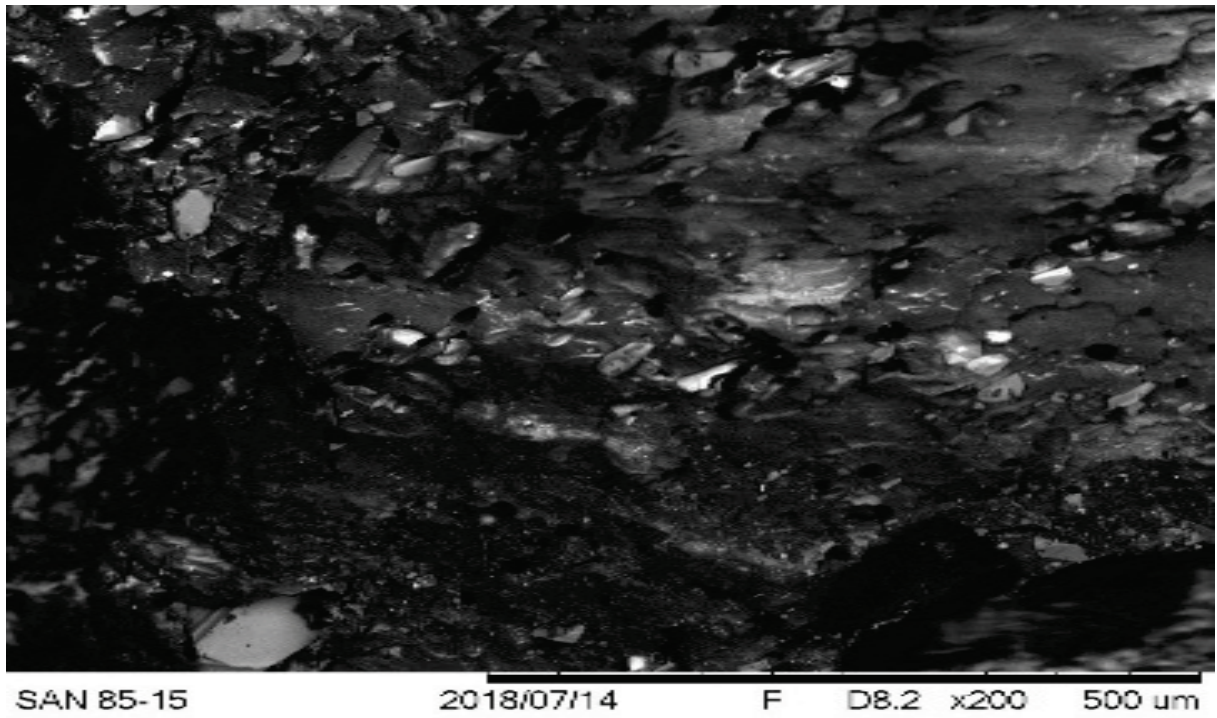
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 49 - MEV do SAN 90/10 (Ampliação, 200)



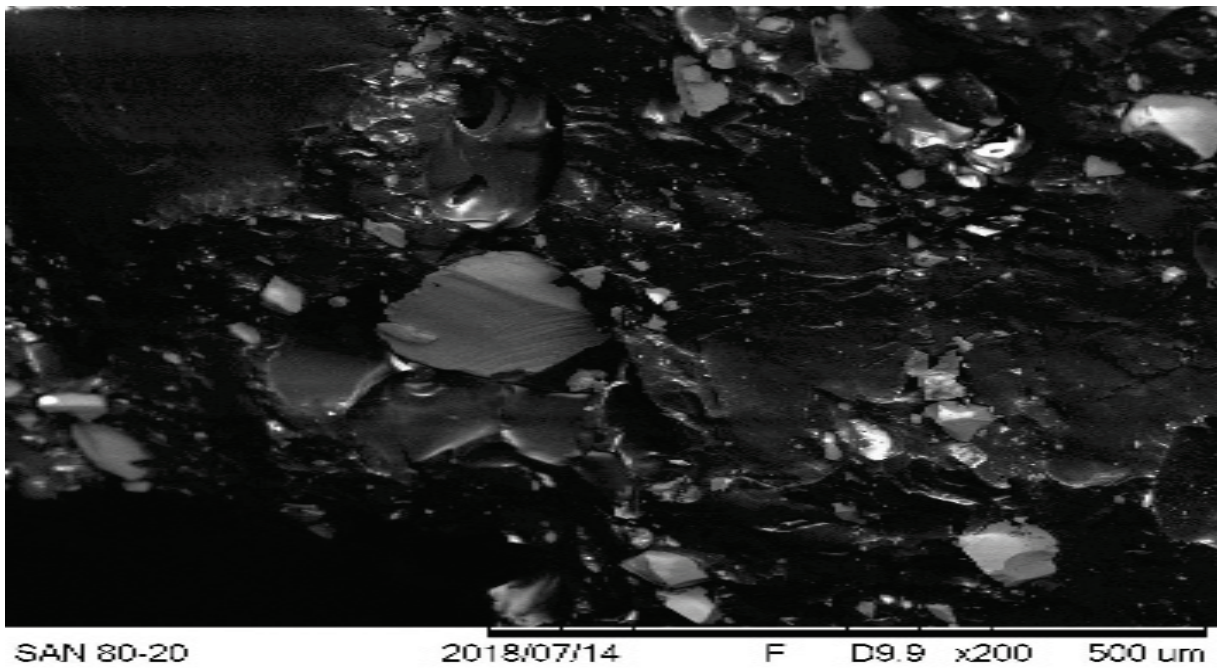
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 50 - MEV do SAN 85/15 (Ampliação, 200)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 51 - MEV do SAN 80/20 (Ampliação, 200)



Fonte: O Autor, 2018.

5.5 Determinação da fração de Polímeros base no compósito

As análises foram feitas para determinar se o conteúdo de pó de vidro estava de acordo com o especificado, sendo os testes realizados em triplicata no Laboratório de Química do Departamento de Materiais e Tecnologia da UNESP-FEG/SP. A tabela 11 demonstra o percentual destas bases na mistura.

5.5.1 Fração de polímeros base no HIPS, ABS e SAN

$$\% \text{ polimcomp} = \left(\frac{\% \text{ polim} * \rho \text{ polim}}{\rho \text{ comp}} \right) * 100$$

Tabela 11 – Fração de mistura dos compósitos HIPS, ABS e SAN.

MISTURAS	<i>%polim</i>	<i>ρpolim</i>	<i>ρcomp</i>	100	<i>% polimcomp</i>
HIPS 90/10	90	1,0543	1,0352	100	91,65
HIPS 85/15	85	1,0543	1,0630	100	84,30
HIPS 80/20	80	1,0543	1,1045	100	76,04
ABS 90/10	90	1,0789	1,0924	100	88,88
ABS 85/15	85	1,0789	1,1314	100	81,05
ABS 80/20	80	1,0789	1,1833	100	72,94
SAN 90/10	90	1,0543	1,1417	100	83,11
SAN 85/15	85	1,0543	1,1563	100	77,49
SAN 80/20	80	1,0543	1,2155	100	69,38

Fonte: O Autor, 2018.

5.6 Análises de MO – verificação da distribuição do vidro no compósito

Conforme se pode observar nas imagens 53 à 64 obtidas pelo MO, tanto as, misturas HIPS, ABS e SAN apresentam uma interação do vidro a base, apesar de apresentarem uma pequena aglomeração em alguns pontos, houve uma certa dispersão do reforço a base. A forte relação entre a cristalinidade e as propriedades físicas ou químicas dos polímeros semicristalinos faz com que cada tipo de base, seja ela HIPS, ABS ou SAN tenha seu próprio campo de aplicação.

Figura 52 - MO do HIPs Puro (Ampliação, 400)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 53 - MO do HIPs 90/10 (Ampliação, 400)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 54 - MO do HIPs 85/15 (Ampliação, 400)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 55 - MO do HIPs 80/20 (Ampliação, 400)



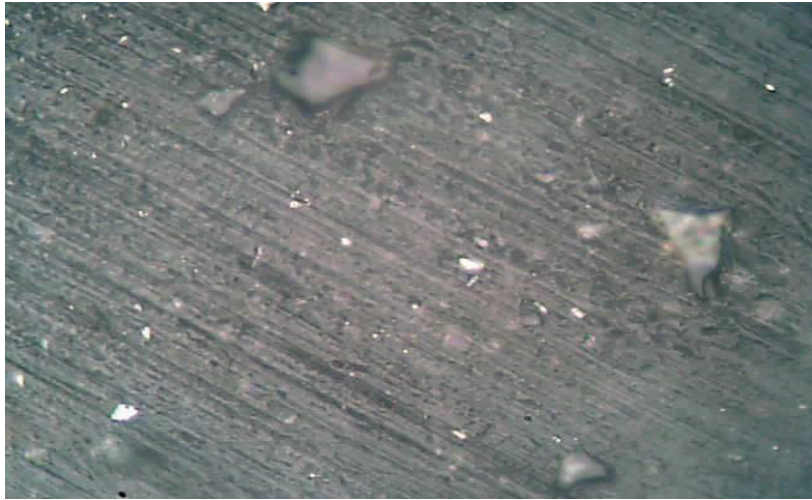
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 56 - M0 do ABS Puro (Ampliações 100, 200, 400)



Fonte: O Autor

Figura 57 - MO do ABS 90/10 (Ampliação, 400)



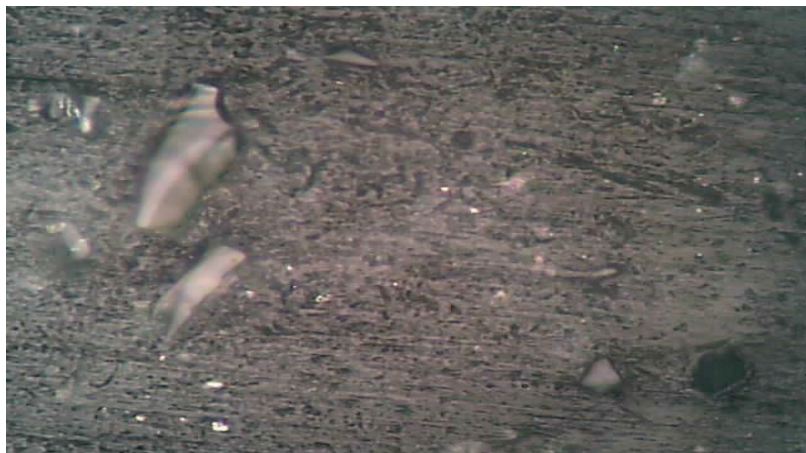
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 58 - MO do ABS 85/15 (Ampliação, 400)



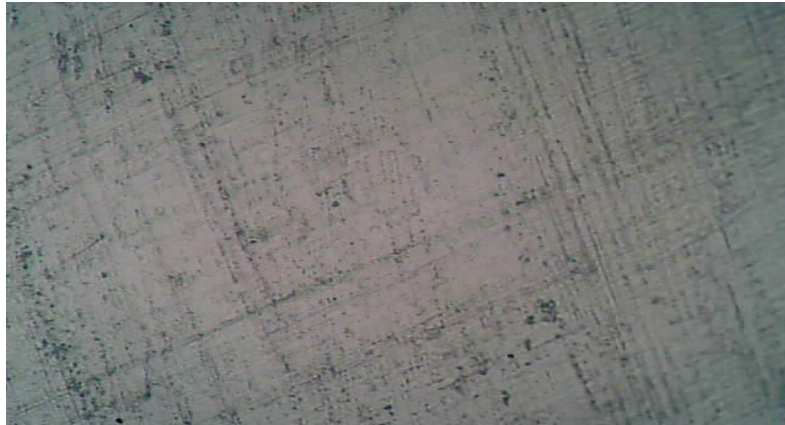
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 59 - MO do ABS 80/20 (Ampliação, 400)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 60 - MO do SAN Puro (Ampliação, 400)



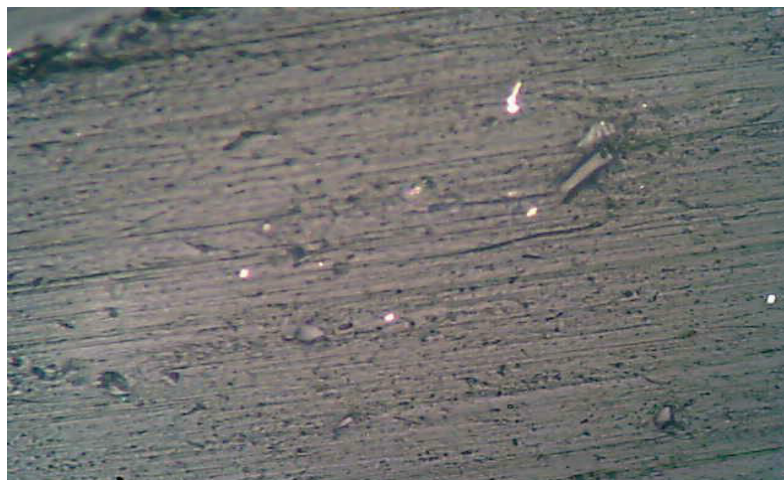
Fonte: O Autor, 2018.

Figura 61 - MO do SAN 90/10 (Ampliação, 400)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 62 - M0 do SAN 85/15 (Ampliação, 400)



Fonte: O Autor, 2018.

Figura 63 - MO do SAN 80/20 (Ampliação, 400)



Fonte: O Autor, 2018.

6 CONCLUSÕES

Com a análise dos ensaios de caracterização das misturas através dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição de pó de vidro no HIPS, ABS e SAN sobre algumas propriedades dos compósitos de HIPS/ pó de vidro; ABS/pó de vidro e SAN/pó de vidro nas proporções 90/10; 85/15 e 80/20 reforçados com esse material e sua possível aplicação na confecção de PCIs.

A partir das análises de picnometria de hélio, verificou-se que a adição do pó de vidro ao HIPS, ABS e SAN não acarretou um aumento na massa específica dos compósitos processados, quando comparado as bases puras.

Com a realização das análises de MEV, verificou-se que a adição do pó de vidro ao HIPS, ABS e SAN, apresentaram uma boa heterogeneidade (aderência) do vidro as bases HIPS, ABS e SAN puro.

Com as análises de MO, foi possível verificar que a adição do pó de vidro ao HIPS, ABS e SAN, promoveu a formação de alguns pontos com uma pequena aglomeração de material, que acredita-se ser constituído por vidro, porém, no geral, estes apresentaram uma boa distribuição do vidro às bases HIPS, ABS e SAN puro.

Por meio das análises de TGA os percentuais de resíduo para o ABS (que neste caso é o vidro) ficaram próximos aos especificados de 10, 15 e 20%, bem como a perda de massa. Para o HIPS e o SAN, entretanto, apresentou um percentual de resíduos para as amostras do HIPS 90/10 e do HIPS 85/15, acima e abaixo, respectivamente, de que era esperado (10 e 15%). Isto pode ter ocorrido devido a uma amostragem não ter sido representativa, uma vez que para esta análise usou-se apenas 10 mg da amostra.

Portanto, com a adição de pó de vidro para as bases HIPS, ABS e SAN, foi possível obter materiais com até 20% menos polímero e com características e propriedades viáveis para a confecção de placas de circuito impresso (PCI's).

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1)** Realização dos ensaios mecânicos de tração, flexão e impacto;
- 2)** MEV das superfícies de fratura;
- 3)** Determinação dos valores de Índice de Fluides dos compósitos;
- 4)** Estudo com a resina termofixa e com o pó de vidro mais fino (75 μm).

REFERÊNCIAS

- [1] MARINUCCI, Gerson. **Materiais Compósitos Poliméricos**. Artliber, São Paulo, v., n, p., 2011.
- [2] CARNEVAROLO JR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros**. 2. ed. São Paulo: Artliber. 2006.
- [3] AKCELRUD, Leni. **Fundamentos da Ciência dos polímeros**. Manole, São Paulo. 2007.
- [4] MARQUES, Luiza. **O que são polímeros e porque são interessantes**. Jornal Diário do Sul, São Paulo. 2016.
- [5] ASHBY, M. F.; JONES, D. R. H. **Engenharia de Materiais**, 2. ed. Campus / Elsevier, Rio de Janeiro. 2007.
- [6] SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos Materiais**. 6. ed. São Paulo. 2008.
- [7] JESUS, Bruno José Silva. **Obtenção e Caracterização de Compósitos de Polietileno de Alta densidade reforçados com carbonato de Cálcio (PEAD/CaCO₃)**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, RJ, 2017.
- [8] SILVA, Ezequiel Andrade. **Processamento e Caracterização de Compósitos de Polipropileno/Carbonato de Cálcio (PP/CaCO₃) para possível utilização na Indústria Automobilística**. 67 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, 2017.
- [9] PRESTES, João Nicolau. **Minimização de Poluentes na síntese das resinas fenólicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1995.
- [10] SILVEIRA, João Vinícius Wirbtzki da. **Desenvolvimento de um novo material de pastilhas de freio baseado na substituição de Resina Fenol-Formaldeído por Lignosulfonato** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2010.
- [11] MONTORO, Sérgio Roberto. **Influência dos parâmetros de processamento por RTM no volume de vazios em compósitos Carbono/Epóxi**. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2014.
- [12] SOUZA, Luciane Soares de; BORGES, Thábata Ferreira. **Influência da adição de copolímeros em bloco de estireno-butadieno (SBS) no poliestireno de alto**

impacto (HIPS) reprocessado. Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais). UNIVAP, Universidade Vale do Paraíba, SP, 2011.

[13] BENINI, Kelly Cristina Coelho de Carvalho. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/Fibra de côco-verde e bagaço de cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia campus Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, SP, 2011.

[14] CAVALCANTI, R. S.; AZEVEDO, J. B.; PISAMU, L.; NASCIMENTO, S. M. **Caracterização térmica, mecânica e morfológica da blenda PCB/ABS Com modificador de impacto.** Artigo técnico. 21º CBCIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, CUIABA, 2014.

[15] LAUDI, R. L.; ANDRADE E SILVA, L. G. **Estudo do efeito da radiação ionizante com feixe de elétrons sobre o termopolímero Acrilonitrila Butadieno Estireno – ABS.** Artigo técnico submetido à Revista Mackenzie de Engenharia de Computação, ano 04, n. 4, p 107-117, 2003.

[16] KUREK, Ana Paula. **Modificação das superfícies de peças em PVC/ABS e Blendas para adesão de camadas metálicas.** Tese de Doutorado (pós-graduação em Engenharia Química) UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014.

[17] BREDA, Alcides. **Avaliação do reprocessamento de copolímero SAN através de moldagem por injeção** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos; São Carlos, SP, 2011.

[18] LEITZKE, Tatiana da Cunha Gomes. **Blendas de SAN/NBR: Influência do teor de Acrilonitrila da borracha nitrílica nas propriedades físico-químicas e mecânicas.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) Universidade do Estado de Santa Catarina; Joinville, SC, 2003.

[19] GRANDE, Rafael. **Estudo da dispersão, localização seletiva e efeito compatibilizante de argila montmorilonita em blendas poliméricas de policarbonato/SAN.** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais; Universidade Federal de São Carlos; São Carlos, SP, 2015

[20] CALLISTER JR., W.D. **Ciência e Engenharia dos Materiais**, uma Introdução. 7. ed. Guanabara. 2008.

[21] TRINDADE, Rafael, Scheer. **Cerâmicas reticuladas produzidas pelo método de Gelcasting utilizando espumas rígidas de poliuretano produzidas com óleo de mamona.** Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais). Programa de Pós-

graduação de Ciências dos Materiais; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

[22] CALDAS, Thais Cristina da Costa. **Reciclagem de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais). Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense. Universidade Estadual do Norte Fluminense; Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.

[23] SILVA, André Diniz Rosa da. **Preparação e caracterização de um novo sistema vítreo multicomponente à base de óxido de boro**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Programa de Pós-graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo São Carlos, SP, 2013.

[24] AMARAL, M. P.; MULINARI, D. R.; MAGNAGO, R. O.; RODRIGUES, L. M.; Santos, C. **Preparação e caracterização de compósitos obtidos a partir de rejeitos poliméricos oriundos de placas de equipamentos eletrônicos**. Artigo. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.

[25] PACHECO; Monique do Amaral **Desenvolvimento de um sistema para separação de componentes eletrônicos e elaboração de materiais para reciclagem**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ, 2015.

[26] SCHMIDT; Paula Novais da Silva. **A qualidade de placas de circuito impresso confeccionadas a partir de poliestireno reciclado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Guaratinguetá, SP, 2012.

[27] DENARI, Gabriela Bueno; CAVALHEIRO, Eder Tadeu Gomes; **Princípios e Aplicações de Análises Térmicas**. Material de Apoio/Curso teórico prático. Instituto de química de São Carlos; Universidade de São Paulo, SP, 2012.

[28] PEREIRA, Gilmara Brandão. **Caracterização de Compósitos HIPS/Fibra da casca do coco verde tratada e Confecção de Manual interativo para aplicação na Indústria Automobilística**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, 2016.

[29] PEREIRA, Glayce Cassaro. **Caracterização de Compósitos HIPS/Bagaço da Cana e Confecção de Manual Operacional para aplicação na Indústria de PET Shop**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, 2017.

[30] RIBEIRO, Marcilio Pelicano. **Aplicação de Termogravimetria Acoplada a Espectrometria de massas para caracterização de Petróleo e determinação da Curva de evolução de Gás Sulfídrico**. Dissertação (Mestrado em Ciência da

engenharia de Petróleo). Programa de Pós-graduação de Ciência e Engenharia de Petróleo; Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2009.

[31] TAVARES, Ana Cristina; PARAGUASSU, Igor Marques; GABRIEL, Marco Antônio; ALVES, Pablo da Silva; CURY, Tatiana Raposo de Paiva, **Caracterização de Materiais Poliméricos**. Submetido a revista UNIFOA – Setembro 2016.

ANEXO A

Tabela 6 - Propriedades do HIPs 825 da INNOVA

PROPRIEDADES PROPERTIES		ISO			ASTM		
	Norma Method	Unidade Unit	Valor Value	Norma Method	Unidade Unit	Valor Value	
REOLÓGICA RHEOLOGICAL							
Índice de fluidez (200°C, 5 kg) Melt flow rate (200°C, 5 Kg)	1133	g/10 min	5.5	D-1238	g/10 min	5.5	
MECÂNICAS MECHANICAL							
Resistência à tração na ruptura Tensile strength at break	527	MPa	25	D-638	MPa	23	
Alongamento na ruptura Tensile strain at break	527	%	45	D-638	%	40	
Módulo elástico por tração Tensile modulus	527	MPa	2200	D-638	MPa	2100	
Resistência à flexão Flexural strength	178	MPa	50	D-790	MPa	52	
Resistência impacto IZOD, entalhado (4 mm) IZOD in pact state, notched (4 mm)	1801A	kJ/m ²	9	-	-	-	
Resistência impacto IZOD, entalhado (3,2 mm) IZOD in pact state, notched (3.2 mm)	-	-	-	D-256	J/m	110	
TÉRMICAS THERMAL							
Temperatura de deflexão sob carga (1,8 MPa, 120°C/h) Deflection temperature under load (1.8 MPa, 120°C/h)	75	°C	90	D-648	°C	90	
Temperatura de amolecimento vicat (1 kg, 50°C/h) Vicat softening point (10 N, 50°C/h)	306	°C	96	D-1525	°C	96	
FÍSICAS GENERAL							
Densidade Density	1183	g/cm ³	1.04	D-792	g/cm ³	1.04	
Contração no molde Molding shrinkage	294	%	0.4 - 0.7	D-955	%	0.4 - 0.7	
Resistência à chama - espessura 1,5 mm Flame behavior - thickness 1.5 mm	UL-94	Classe Class	HB	UL-94	Classe Class	HB	

Tabela 7 - Propriedades ABS Ae 8000 da INNOVA

FICHA TÉCNICA TECHNICAL DATA		ABS		FORMECIDO POR FORMOSA CHEMICALS & FIBRE CORPORATION, TAIWAN SUPPLIED BY FORMOSA CHEMICALS & FIBRE CORPORATION, TAIWAN		AE8000	
						Rev.: 07 - JAN/2016	
PROPERTY	UNIT	TEST METHOD	TEST CONDITION	AEB04(N)			
Tensile Strength	kg/cm ² (MPa)	ASTM D-638 (ISO 527)	23°C	440 (43)			
Flexural Strength	kg/cm ² (MPa)	ASTM D-790 (ISO 178)	23°C	700 (69)			
Flexural Modulus	kg/cm ² (MPa)	ASTM D-790 (ISO 178)	23°C	23000 (2260)			
Rockwell Hardness	R-Scale	ASTM D-785 (ISO 2008/2)	23°C	R-100			
Impact Strength	kg-cm/cm (J/m)	ASTM D-256 (ISO R180)	23°C 1/4" Bar	40 (382)			
Vicat Softening Temperature	°C	ASTM D-1525 (ISO 306)	1 kg load	102			
Heat Deflection Temperature	°C	ASTM D-648 (ISO 75/A)	Unannealed 18.6 kg/cm ² (1.2" Bar)	86			
			Annealed (80°C x 8h)	96			
Melt Flow Index	g/10 min	ASTM D-1238 (ISO 1133)	200°C x 5kg (49)	-			
			220°C x 10kg (98N)	5			
Specific Gravity	g/cm ³	ASTM D-792 (ISO 1183)	23°C/23°C	1.04			
Flammability	-	UL-94	FILE NO. E162823	1.5 mm HB All Color			

Fonte: Boletim Técnico da Innova 56a7c10441e67

Tabela 8 - Propriedades SAN NF2200 da INNOVA

FICHA TÉCNICA TECHNICAL DATA		SAN FORNEDIDO POR FORMOSA CHEMICALS & FIBRE CORPORATION, TAIWAN SUPPLIED BY FORMOSA CHEMICALS & FIBRE CORPORATION, TAIWAN		NF2200	
				Rev.:07 - JAN/2016	
PROPERTY	UNIT	TEST METHOD	TEST CONDITION	NF2200	
Tensile Strength	kg/cm ² (MPa)	ASTM D 638 (ISO 527)	23°C	720 (71)	
Flexural Strength	kg/cm ² (MPa)	ASTM D 790 (ISO 178)	23°C	1200 (118)	
Flexural Modulus	kg/cm ² (MPa)	ASTM D 790 (ISO 178)	23°C	35000 (3430)	
Rockwell Hardness	R Scale	ASTM D 785 (ISO 2039/2)	23°C	M 78	
Impact Strength Izod	kg cm/cm (J/m)	ASTM D 256 (ISO R180)	23°C 1/4" bar	17 (17)	
Heat Deflection Temperature	°C	ASTM D 648 (ISO 75/A)	Unannealed 18.6 kg/cm ² (1.2" bar)	92	
Melt Flow Index	g/10 min	ASTM D 1238 (ISO 1133)	200°C x 5kg (49 N)	2.9	
			220°C x 10kg (98 N)	29	
Specific Gravity	g/cm ³	ASTM D 792 (ISO 1183)	23°C/23°C	1.06	
Flammability		UL 94	FILE NO. E162823	1.5 mm HB All Color	

Fonte: Boletim Técnico da Innova 56a7b7228739c